



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# IHMISKESKEINEN VALAISTUS

Yleisesti sekä kouluympäristöissä

Alexi Riihimäki

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka

RIIHIMÄKI, ALEKSI:  
Ihmiskeskeinen valaistus  
Yleisesti sekä kouluympäristöissä

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 8 sivua  
Toukokuu 2018

---

Human Centric Lighting, Non-Image Forming Effects of Light, ihmiskeskeinen valaistus ja valon biologiset vaikutukset ovat kaikki termejä koskien valaistusta, jonka suunnittelun ja toteutuksen keskiössä on ihminen. Viime vuosina valon eri ominaisuuksien vaikutuksia ihmiseen on tutkittu yhä enenevässä määrin, mutta silti esimerkiksi näkyvän valon koko spektrin vaikutuksia ei vielä tarkkaan tunneta. Tällä hetkellä tilanne on onneksi kuitenkin se, että laajalti on herätty ymmärtämään käyttäjien hyvinvoinnin ja olosuhteiden merkitys myös valaistuksen ja sen suunnittelun osana.

Tämä opinnäytetyö tavoitteena oli koota kansainvälisiä tutkimuksia ihmiskeskeistä valaistusta koskien, painottuen erityisesti kouluympäristöissä toteutettuihin tutkimuksiin. Tutkimusraportteja on nykyisin jo melko paljon, joten valon eri ominaisuudet on huomioitu tutkimuksissa laajalti. Kootun tutkimustiedon perusteella tehtiin tutkimussuunnitelma sekä suunniteltiin valaistus esimerkkikohteeseen, joka on erityisluokka Alhoniityn koulussa Nokialla. Uudella valaistuksella pyritään edistämään luokan oppilaiden ja henkilökunnan hyvinvointia sekä mahdollisesti oppimistuloksia. Uuden valaistuksen mahdollisten vaikutusten arviointia varten on koottu myös ehdotuksia eri osa-alueista, joiden avulla valaistuksen vaikutuksia voidaan arvioida.

Tehdyn tutkimustyön perusteella selvisi, että aihe on herättänyt maailmalla laajalti kiinnostusta ja sen parissa riittää tekemistä vielä paljon tuleville vuosille. Lisäksi tekniikan kehittyminen avaa uusia sovellusmahdollisuuksia ja tarjoaa näin ollen myös lisää tutkittavia osa-alueita. Näitä mahdollisia jatkotutkimusaiheita käsiteltiin tämän opinnäytetyön pohdintaosuudessa. On myös huomattavissa, että tutkimukset ovat alkaneet keskittyä yhä tarkemmin eri osa-alueille, kuten koulu-, työ-, terveydenhuolto-, kaupunki- ja kotiympäristöihin.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services  
Electrical Building Services

**RIIHIMÄKI ALEKSI:**  
Human Centric Lighting  
Generally and in School Environments

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 8 pages  
May 2018

---

Human Centric Lighting, Non-Image Forming Effects of Light and Biological Effects of Light are all terms used with lighting having a human in the focal point. During the last few years, the effects of the various attributes of light on humans have been under a growing amount of research. Still, for example the effects of the whole spectrum of visible light are not completely known yet. It is positive to notice though that the role of conditions and the user's well-being are widely acknowledged as part of lighting design.

The objective of this thesis was to compile a summary of the research regarding the Human Centric Lighting. The summary was the background information for the research plan and the lighting design for a single classroom in Alhoniitty elementary school in Nokia Finland. The new lighting solution aims to enhance the well-being and academic performance of the students and personnel of that class. To assess the academic performance a list of suggested factors suitable for this purpose was compiled.

During the research for this thesis it became quite clear that the subject has aroused attention widely and has a great potential for further research and field studies. It is also noticeable that the research regarding Human Centric Lighting is focusing more and more on subfields such as education, workplaces, health care, urban and domestic applications. Hence the research carried out for this thesis is emphasized the educational environments.

---

Key words: light, lighting design, human centric lighting, well-being

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALON EI-VISUAALINEN JÄRJESTELMÄ IHMISKEHOSSA .....	9
2.1	Ei-visuaalisen järjestelmän rakenne ja toiminta .....	9
2.2	Miten ei-visuaaliseen järjestelmään voi vaikuttaa? .....	12
3	IHMISKESKEINEN VALAISTUS – HUMAN CENTRIC LIGHTING.....	14
3.1	Määritelmä .....	14
3.2	WELL Building -standardi valaistuksen näkökulmasta .....	16
3.3	Valonlähteiden ei-visuaalinen arviointi .....	18
4	IHMISKESKEISEN VALAISTUKSEN TUTKIMUS.....	21
4.1	Tutkimukset koskien valon vaikutusta sirkadiaanirytmiiin .....	21
4.1.1	Valo-pimeärytmin kontrolloiminen vs. uni-valverytmin kontrolloiminen .....	21
4.1.2	Eri pituisten kirkkaan valon jaksojen aiheuttamat vasteet ihmisillä .....	22
4.1.3	Valkoisen valon vaikutukset melatoniinintuotantoon nuorilla ja aikuisilla .....	23
4.1.4	Koonti tutkimuksista koskien valon vaikutusta sirkadiaanirytmiiin .....	23
4.2	Valon spektriä koskevat tutkimukset.....	24
4.2.1	Punaisen ja sinisen valon vaikutukset valppauteen ja mielialaan yöllä .....	25
4.2.2	Punaisen ja sinisen valon vaikutukset kortisolin, alfa-amylaasin ja melatoniinin vuorokausivaihteluun. ....	26
4.2.3	Punaista valoa uni-inertian vähentämiseksi .....	27
4.2.4	Punaisen ja sinisen valon vaikutukset valppauteen iltapäivällä....	28
4.2.5	Yöllinen valo sekä valppauden ja suorituskyvyn mittaaminen....	28
4.2.6	Valon spektriä koskevien tutkimusten koonti .....	29
4.3	Tutkimukset koskien värilämpötilaa ja dynaamista ohjausta .....	29
4.3.1	Perinteisen ja korkean värilämpötilan valaistuksen vaikutus alasteikäisten lähialueen tarkkaavaisuuteen .....	30
4.3.2	Värilämpötilan ja valon ajoituksen vaikutus valppauteen luentoympäristöissä .....	31
4.3.3	Dynaamisen valaistuksen vaikutukset oppimiseen .....	32
4.3.4	Koonti tutkimuksista koskien värilämpötilaa ja dynaamista ohjausta .....	32
4.4	Valonjakoa koskevat tutkimukset.....	34
4.4.1	Ympäröivän valon vaikutus koululaisilla.....	34
4.4.2	Valonjaon optimointi työalueilla.....	35

4.4.3	Valonjakoa koskevien tutkimuksien koonti .....	36
5	MUUTA TUTKIMUSTA KOSKIEN IHMISKESKEISTÄ VALAISTUSTA 37	
5.1	Värien psykologia ja valo .....	37
5.2	Näytölliset laitteet .....	38
5.3	Näytöllisiä laitteita koskevien tutkimuksien koonti.....	41
5.4	Ledien haitat .....	41
6	ALHONIITYN KOULUN ERITYISLUOKAN VALAISTUS .....	43
6.1	Alhoniityn koulun vanha valaistus .....	43
6.2	Alhoniityn koulun uusi valaistus ja ohjaus .....	44
6.3	Ihmiskeskeisen valaistuksen vaikutusten arvioiminen .....	47
6.4	Projektin arviointi ja jatkotoimenpiteet .....	48
7	POHDINTA.....	50
7.1	Opinnäytetyöprojektin arviointi.....	50
7.2	Pohdintaa ihmiskeskeisestä valaistuksesta sekä jatkotutkimus .....	51
7.3	WELL-sertifikaatin tuominen osaksi uutta rakennuskulttuuria.....	51
7.4	Muita ihmiskeskeisen valaistuksen sovellusympäristöjä.....	51
7.5	Valaisinten ja valonlähteiden vertailu sekä siihen sopiva mittayksikkö..	52
7.6	Koko valon spektrin vaikutusten tutkiminen .....	52
7.7	Sirkadiaanirytmien vaiheen arvioiminen ulkoisesti .....	53
7.8	Ledien haitat .....	53
7.9	Lopputiivistys .....	54
	LÄHTEET .....	55
	LIITTEET .....	58
	Liite 1. Tutkimussuunnitelma.....	58

**ERITYISSANASTO**

sirkadiaanirythmi	elimistön biologinen vuorokausirythmi
monokromaattinen valo	vain yhtä aallonpituutta sisältävä valo
ipRGC-solu	luonnollisesti valoaktiivinen verkkokalvon gangliosolu englanniksi intrinsically photosensitive retinal ganglion cell

## 1 JOHDANTO

Valo ja valaistus on aihealueena mielenkiintoinen risteyskohta tekniikan, taiteen ja biologian kohdatessa saman aihepiirin yhteydessä. Sen kehittyminen on lähtenyt tekniikan johdolla näkemisen tarpeen täyttämiseksi, mutta matkan varrella valo on löytänyt paikkansa myös taiteen ja ilmaisun välineenä. Yhä kiihtyvällä tahdilla on kuitenkin toteutettu myös tutkimuksia valon biologisiin vaikutuksiin ja sen lääketieteelliseen hyödyntämiseen liittyen. Valon vaikutukset ihmiseen ovat olleet tietyllä tapaa aina tiedossa, sillä onhan meidän luonnollinen vuorokausirytmimme kehittynyt luonnossa tapahtuvan päivänvalon vaihteluiden ympärille ja näköaistimme erityisesti tarkan näön osalta nimenomaan valoisaan aikaan toimivaksi. Kuitenkin vasta 2000-luvun alusta alussa löydetyn luonnollisesti valoaktiivisen verkkokalvon gangliosolun löytyminen on alkanut tarjota selityksiä sille, mitä kautta ja millä tavoin valo ihmisiin vaikuttaa biologisessa mielessä.

Tässä opinnäytetyössä valon biologisilla vaikutuksilla tarkoitetaan vaikutuksia ihmisen elimistön sirkadiaani- eli vuorokausirytmiiin tai muuten terveyteen ja hyvinvointiin. Ei siis esimerkiksi näkemistä, joka on myös biologinen prosessi. Eero Latvajärven opinnäytetyössä ”Valon hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden huomiointi valaistussuunnittelussa” on näitä näkemiseen liittyviä seikkoja esitelty, mikäli lukijalle herää mielenkiinto niitä kohtaan (Latvajärvi 2013). Teoriaosuudessa näistä valon biologisista vaikutuksista nimenomaan sirkadianrytmille käytetään nimitystä valon ei-visuaaliset vaikutukset. Ihmiskeskeisellä valaistuksella tarkoitetaan jatkossa valaistusta, jossa nämä valon ei-visuaaliset vaikutukset on huomioitu.

Opinnäytetyön idea lähti liikkeelle Arto Heiskaselta WhiteNight Lighting Oy:sta, sillä hän tiesi Pursolla Oy:lla olevan kiinnostusta toteuttaa projekti ihmiskeskeisestä valaistuksesta. Opinnäytetyön tekijä taas oli ollut aiemmin yhteyksissä Artoon ja kysellyt mahdollisia opinnäytetyön aiheita valaistusalaan liittyen. Opinnäytetyön tarkoitukseksi muodostui kerätä riittävä määrä ajankohtaista tutkimustietoa ihmiskeskeisestä valaistuksesta tutkimussuunnitelman pohjaksi. Tutkimussuunnitelma on kohdistettu Alhoniityn kouluun Nokialle toteutettuun erityisluokan valaistussaneeraukseen. Tutkimussuunnitelmassa päätavoitteet ovat uuden ihmiskeskeisen valaistusratkaisun suunnittelu sekä listaus keinoista, joilla luokan uuden valaistuksen mahdollisia vaikutuksia pystytään jatkossa arvioimaan. Lisäksi, johtuen aiheesta käsittelevän suomenkielisen kirjallisuuden puutteesta,

opinnäytetyön tekijä asetti tavoitteeksi työn teoriaosuudessa avata ihmiskeskeistä valaistusta myös yleisemmin. Tavoitteena on pystyä tarjoamaan riittävästi pohjatietoa, jotta aiheesta kiinnostunut voisi tämän opinnäytetyön lukemalla lisätä tietämystään aiheesta ja ymmärtää esiteltyjen tutkimustulosten merkityksen valaistussuunnittelun osana.

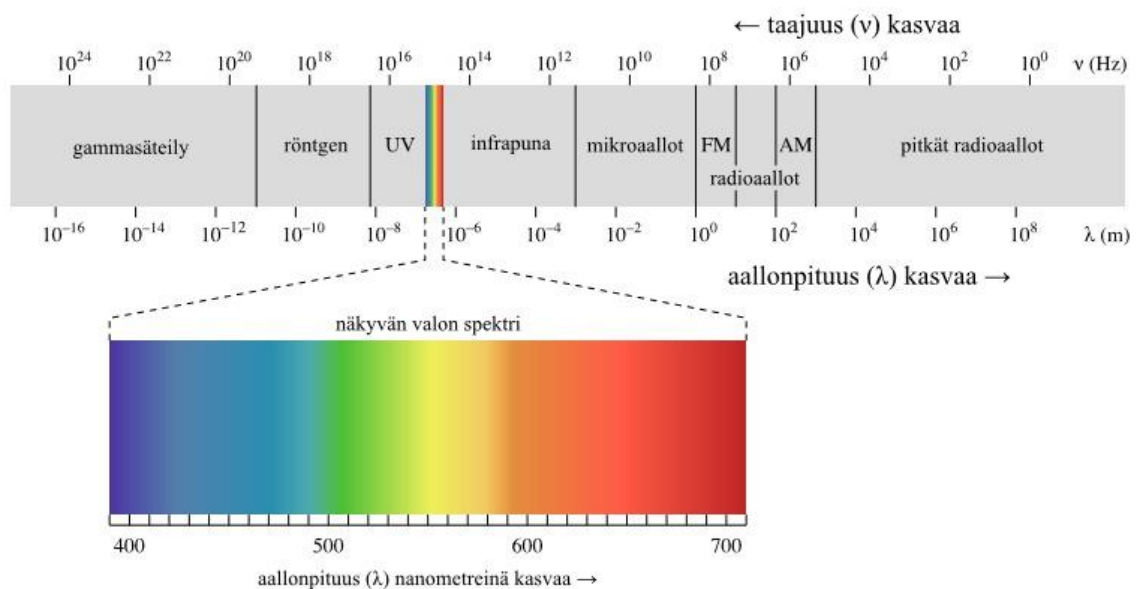
Opinnäytetyön alussa on lyhyesti kerrattu teoria valon biologisten vaikutusten taustalla, jotta lukijan olisi helpompi ymmärtää myöhemmin esitettyä tutkimustietoa. Teoriaosuus koskee valolla saavutettavia vaikutuksia ihmisen sirkadiaanirytmiiin. Koottu tutkimustieto on jaoteltu valon eri ominaisuuksiin sisältäen valon spektrin, valaistusvoimakkuuden, valonjaon, värilämpötilan sekä dynaamisen vaihtelun aikatasossa. Lisäksi mukana on muutamia tutkimuksia, jotka liittyvät ihmiskeskeiseen valaistukseen hieman eri näkökulmasta kuin edellä mainitut. Opinnäytetyöhön mukaan otettujen tutkimusten valinnassa on painotettu niiden sovellettavuutta nimenomaan kouluympäristöissä.

Esimerkkikohteen valaistuksen uudistamisen toteutus käydään lopussa lyhyesti läpi vertaillen vanhaa ja uutta valaistusta keskenään. Lisäksi lopussa on ehdotuksia eri tavoista ihmiskeskeisten valaistusratkaisujen vaikutusten arvioimiseksi sekä esimerkkikohteen valaistuksen jatkokehittämiseksi. Ehdotetut tavat vaikutusten arvioimiseen on rajattu siten, että esimerkiksi lääketieteellistä osaamista ja laitteistoa vaativat tavat, kuten erilaisten hormonien määrien mittaaminen on jätetty pois. Esitetyt tavat ovat siis mahdollisia toteuttaa hyvin helpostikin joko laitetoimittajana oman markkinoinnin tueksi tai asiakkaana uuden valaistuksen hyötyjen arvioimiseksi. Lisäksi pohdintaluvussa työn lopussa on ehdotuksia jatkotutkimuksia koskien, joille varmasti on aihepiirin tiimoilta tarvetta.



## 2 VALON EI-VISUAALINEN JÄRJESTELMÄ IHMISKEHOSSA

Ihmisen silmän ja aivojen muodostaman ei-visuaalisen järjestelmän ja sen osien ymmärtäminen auttaa hahmottamaan paremmin myöhemmin esiteltävien tutkimustulosten merkitystä ihmiskeskeisen valaistuksen kannalta. Esimerkiksi valonjaon tai valon spektrin merkitys on täysin ymmärrettävissä ainoastaan, mikäli ei-visuaalisen järjestelmän rakenne ja sen eri osien perusominaisuudet tunnetaan. Tässä luvussa käsitellään ei-visuaalisen järjestelmän rakennetta sekä keinoja vaikuttaa siihen. Kuvassa 1 johdantona aiheeseen näkyy sähkömagneettisen säteilyn spektri, josta näkyvän valon spektri on hyvin pieni osa.

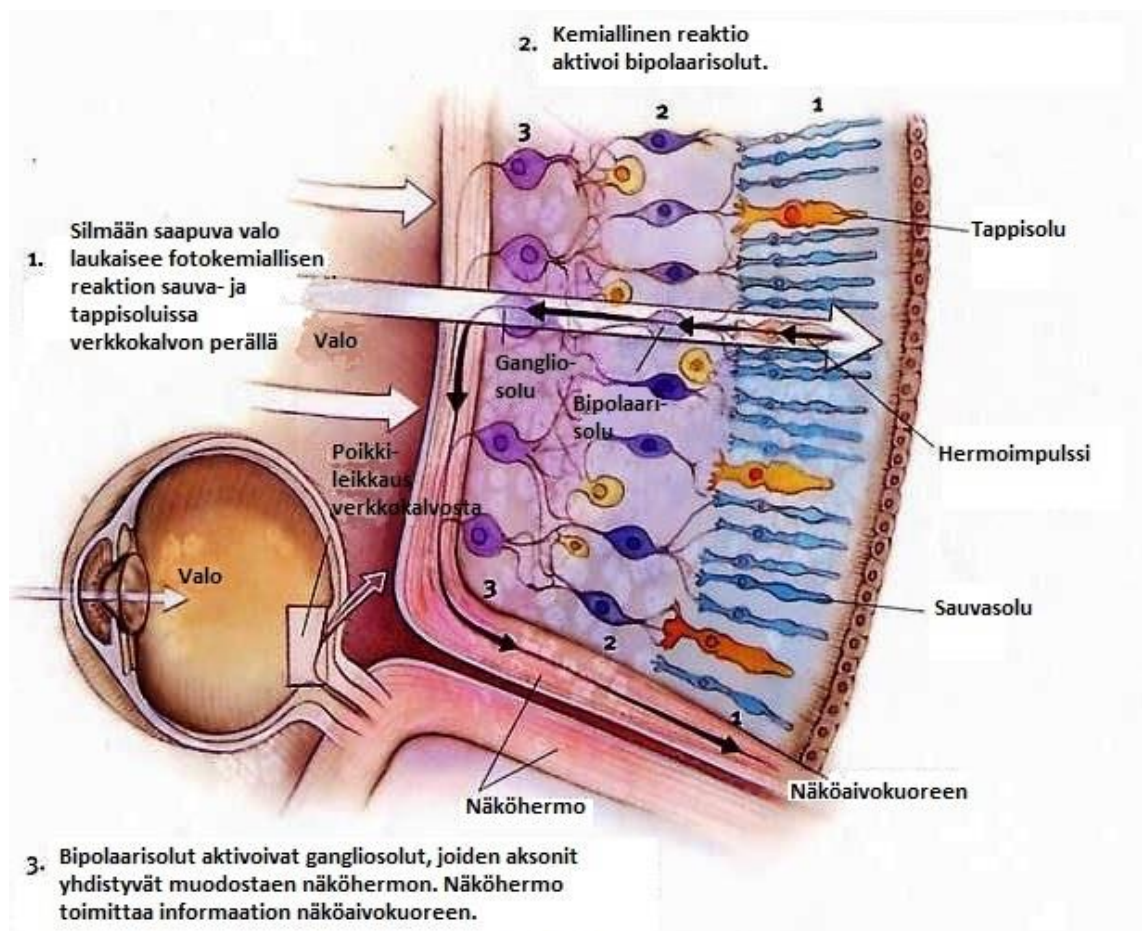


KUVA 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri (Peda.net n.d.)

### 2.1 Ei-visuaalisen järjestelmän rakenne ja toiminta

Verkkokalvolla sijaitsevien gangliosolujen tehtävä on välittää sauva- ja tappisolujen lähettämä ja bipolaari-, amakriini- sekä horisontaalisolujen kautta välitetty tieto viejähaarakeidensa eli aksoniensa kautta näköhermoa pitkin aivoihin ja näin ollen synnyttää näköaistimus. Vuonna 2002 kuitenkin havaittiin, että pieni osa näistä gangliosoluista toimii itsenäisesti vaikuttamatta näköaistimuksen synnyttämiseen ja sisältävät valoherkkää melanopsiinia (Berson ym. 2002). Näiden luonnollisesti valoherkkien verkkokalvon

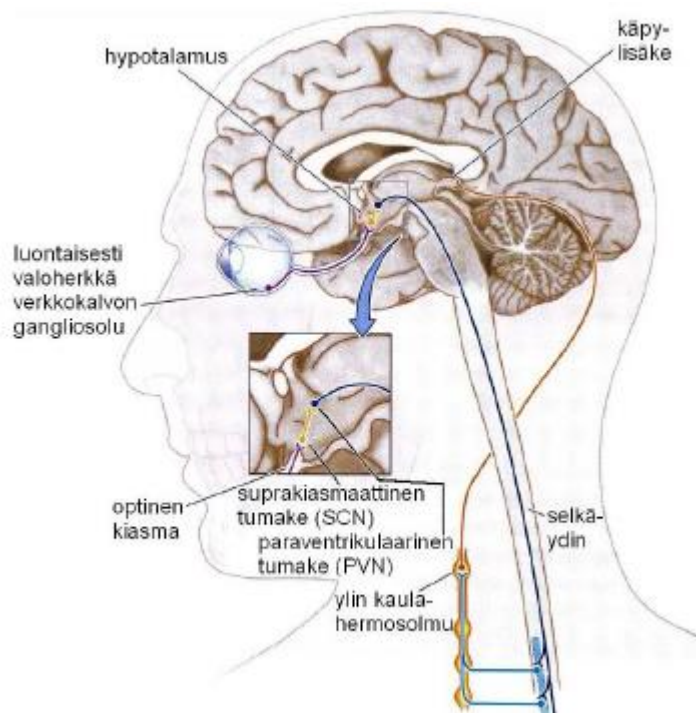
gangliosolujen (ipRGC-solujen) spektriherkkyysmaksimi on noin 480 nanometriä eli sinivihreän valon alueella ja niiden osuus on alle yksi prosentti koko gangliosolujen määrästä. Lisäksi nämä ipRGC-solut näyttävät toimivan valoaktiivisesti, vaikka ne olisivatkin fyysisesti tai kemiallisesti erotettu muista neuroneista ja niiden toimintaan saattavat vaikuttaa myös muut verkkokalvon fotoreseptorit. Kuvassa 2 olevassa leikkauskuvassa ihmisen silmästä on nähtävissä verkkokalvon fotoreseptoreiden eli tappi- ja sauvasolujen sekä gangliosolujen sijainnit, sekä valonsäteilyn fotonien muunnos kemialliseksi reaktioksi ja reitti edellä mainittujen solujen välittämänä lopulta aivoihin. (Englund & Partonen 2009 ; Di Laura ym. 2011.)



Kuva 2. Valosta hermoimpulssiksi muunnos sekä fotoreseptoreiden sijainnit silmässä (Suomennettu. Alkuperäinen kuva AP Psychology n.d.)

Valon ei-visuaalisten vaikutusten hermosignaaleille on täysin oma aiemmin esitellystä näköaistimuksesta poikkeava reittinsä. Se alkaa luonnollisesti valoherkistä verkkokalvon gangliosoluista, jotka viejähaarakkeidensa välityksellä kuljettavat tiedon ensin väliaivoissa sijaitsevaan suprakiasmaattiseen tumakkeeseen (SCN). Suprakiasmaattinen tu-

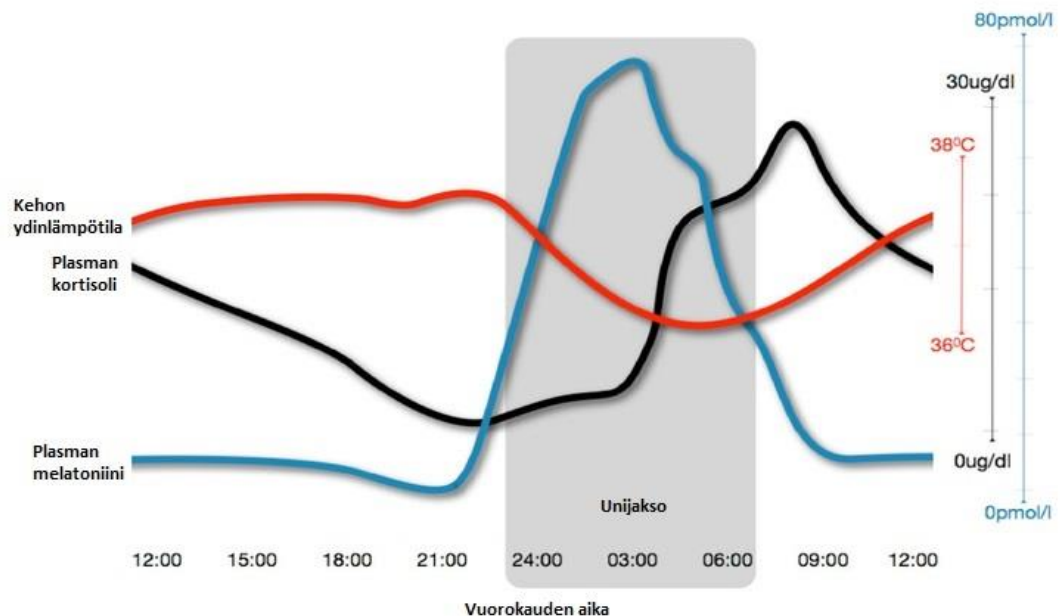
make on väliaivojen hypothalamuksessa sijaitseva ihmisen sisäinen kello ja sirkadiaanirytmien tahdistin. Ulkopuoliset aikamerkit tahdistavat sen päivittäin, jonka seurauksena se välittää signaaleja muille sisäisen kellon ohjaamille kehon osille. Suprakiasmaattisen tumakkeen rytmi ei kuitenkaan ole tarkalleen 24 tuntia, vaan sen täytyy saada päivittäinen ulkopuolisten aikamerkkien aiheuttama tahdistus, jotta elimistön sisäinen vuorokausirytmistö kohtaisi ulkopuolisen maailman vuorokausirytmien kanssa. Näistä ulkopuolisista aikamerkeistä voimakkaimmin vaikuttava on 24 tuntinen valo-pimeärytmi. Kuvassa 3 on esitetty valon ei-visuaalisten vaikutusten reitti silmästä aivoihin. (Di Laura ym. 2011.)



KUVA 3. Näköelimen ei-visuaalinen järjestelmä, englanniksi retinohypothalamic tract (Suomentanut Kallioharju. Alkuperäinen kuva. Purves ym. 2004.)

Suprakiasmaattisen tumakkeen aiheuttama vuorokausirytmien ohjaus tapahtuu lähettämällä hermosignaaleja selkäydintä pitkin ylimmän kaulasolmun kautta aivojen käpylisäkkeeseen. Näiden hermosignaalien ohjaamana käpylisäkkeen melatoniinihormonin tuotanto vaihtelee riippuen vuorokauden ajasta, eli suurempi melatoniinitaso yöllä ja pienempi päivällä. Melatoniini-hormoni auttaa vuorokausirytmien ylläpitämistä edistämällä unensaantia, lisäksi se vahvistaa elimistön puolustusjärjestelmää ja vaikuttaa vireystilaan. Valon lisäksi stressi, alkoholi ja ikääntyminen vähentävät sen tuotantoa. Juuri melatoniinin tuotanto ja kehon ydinlämpötila ovat yleisimmät tavat mitata ja arvioida ihmisen sirkadiaanirytmistöä. Näistä kahdesta vielä melatoniinin tuotanto on useammin käytetty, sillä se on vähemmän altis peitevaikutuksia aiheuttaville tekijöille. (Di Laura ym. 2011.)

Kolmas usein mitattava asia sirkadiaanirytmien arvioimiseksi on hypotalamus-aivolisäkelisämunuais-akselin eli HPA-akselin ohjailema kortisoli-hormonin tuotanto. HPA-akseli aktivoituu stressitilanteissa erittäin kortisolia ja vähentäen näin uneliaisuutta, mutta HPA-akseli noudattelee myös suprakiasmaattisen tumakkeen ohjailemaa vuorokausirytmää. Kortisolin taso on normaalia uni-valverytmiä noudattelevalla ihmisellä matalimmillaan noin kello 22–04. Tämän jälkeen taso alkaa vähitellen kohota ottaen vielä piikin noin 30–40 minuuttia heräämisen jälkeen. Kuvassa 4 on esitettyä kaikkien kolmen edellä mainitun asian eli melatoniinin, kortisolin ja kehon ydinlämpötilan vuorokausirytmien normaali tilanteessa. (Härmä & Sallinen 2008; Luecken & Gallo 2008.)



KUVA 4. Normaalin uni-valverytmien aikaisen melatoniinin, kortisolin sekä kehon ydinlämpötilan väliset suhteet (Suomennettu. Alkuperäinen kuva Hickie ym. 2013.)

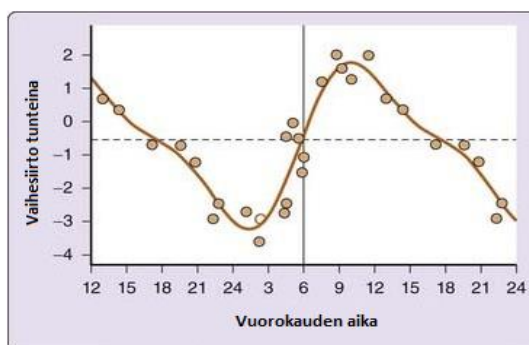
## 2.2 Miten ei-visuaaliseen järjestelmään voi vaikuttaa?

Gangliosolut ja näin olleen myös luonnollisesti valoherkät verkkokalvon gangliosolut (jatkossa ipRGC-solut) ovat levittäytyneenä ympäriinsä ihmisen verkkokalvolla pois luki- fovea- eli tarkan näön piste. Lisäksi kyseisten ipRGC-solujen tuojahaarakkeet, dendriitit, ovat valolle herkkiä, mikä auttaa muodostamaan laajan valonsäteilyä eli foto-

neita vastaanottavan verkoston. Näin ollen ipRGC-solujen aktivoiminen onnistuu parhaiten laajalti eri suunnista säteilevän valon avulla, tarkkaan kohdistetun ja tarkan resoluution omaavan valaistuksen sijaan. (Englund & Partonen 2009 ; Di Laura ym. 2011.)

Valolle altistumisen ajoituksen rooli on merkittävä pyrittäessä sirkadiaanirytmien vaihetta siirtäviin vaikutuksiin. Valon vaikutus on suurimmillaan ihmisen biologisen yön eli korkean melatoniinin tuotannon aikana, jolloin vuorostaan kehon lämpötila on matalalla. Tällöin ihmiset yleisimmin ovat unessa ja altistuvat pienimmälle valon määrälle, vastavasti vaikutus on heikoimmillaan biologisen päivän aikana. Normaaliolosuhteissa kehon lämpötilan minimi saavutetaan noin kello 6.00 ja valolle altistuminen ennen tätä, aikavälillä 18.00–6.00, aiheuttaa sirkadiaanirytmien viivästymistä. Vaikutus on suurimmillaan noin kello 2.00. Rytmia aikaistava vaikutus saavutetaan valoaltistuksella kehon minimilämpötilan jälkeen, aikavälillä 6.00–18.00, vaikutuksen ollessa suurimmillaan aamulla noin kello 9.00. (Di Laura ym. 2011.)

Kuvassa 5 näkyvä käyrä havainnollistaa hyvin valon ajoituksen merkitystä sirkadiaanirytmien siirtämiseen. On huomioitava kuitenkin, että kehon lämpötilan minimiarvon saavuttamisen hetki on yksilöllisesti vaihteleva tekijä, joka tulee huomioida valoa ajoitettaessa. Kuvaaja on otettu tutkimuksesta, jossa käytettiin 6,7 tunnin ajan erittäin kirkasta (> 5000 lx) valkoista valoa (4100 K), eli y-akselilla olevien tuntimäärien suuruusluokan vaikutukset vaihesiirroissa eivät ole tavanomaisissa valaistusvoimakkuuksissa saavutettavissa. Sirkadiaanirytmien vaihesiirtoa aiheuttava vaikutus näyttäisi kuitenkin saturoituvan noin 600-1000 lx valaistusvoimakkuuksilla silmän tasolla ja 100 lx valaistusvoimakkuus silmän tasolla riittää jo saavuttamaan noin 50 % suuruisen vaikutuksen maksimaalisesta. Tämä 100 lx silmän tasolla on saavutettavissa noin 300-500 lx horisontaalivalaistusvoimakkuudella tilassa. (Di Laura ym. 2011. Figueiro, Brainard, Lockley 2008.)



KUVA 5. Sirkadiaanirytmien vaiheen siirtäminen eri vuorokauden aikoina (Suomennettu. Alkuperäinen kuva Neupsy Key 2017.)

### 3 IHMISKESKEINEN VALAISTUS – HUMAN CENTRIC LIGHTING

Tähän lukuun on koottuna yleistietoa ihmiskeskeisestä valaistuksesta. Pyrkimyksenä on tarjota lukijalle parempi ymmärrys siitä, mitä termillä ylipäättään tarkoitetaan ja miten se poikkeaa tavanomaisesta lähestymistavasta valaistukseen ja sen suunnitteluun. Lisäksi luvussa on avattu eri valonlähteiden vertaileminen ihmiskeskeisen valaistuksen näkökulmasta sekä kerrottu, miten rakentamista tai valaistuksen suunnittelua ohjaavat standardit yms. ottavat kantaa ihmiskeskeiseen valaistukseen.

#### 3.1 Määritelmä

Lighting Europe -yhtymä, joka kotisivuillaan kertoo olevansa yli 1000 eurooppalaisen valaistusalan yrityksen ääni, määrittelee ihmiskeskeistä valaistusta seuraavasti: ”Ihmiskeskeinen valaistus tukee ihmisten terveyttä, hyvinvointia ja suorituskykyä yhdistämällä valon visuaaliset, biologiset ja emotionaaliset hyödyt” (Lighting Europe). Alan eri yritykset taas omilla kotisivuillaan painottavat mielellään oman liiketoimintansa kannalta olennaisia asioita, olivatpa ne sitten esimerkiksi valaistuksen ohjausmahdollisuuksien tärkeys tai valonlähteen merkitys. Yleisenä perusperiaatteena voidaan pitää luonnonvalon jäljittelemistä niin dynaamisen vaihtelun, kuin valonjaon ja -spektrin osalta. Tämän opin näytetyön pohjalle tehdyn työn perusteella hyvänä määrittelynä voidaan pitää Lighting European määritelmää, sillä se on riittävän laaja.

Hyvin suuri osa ihmiskeskeisestä valaistuksesta muodostuu nimenomaan valon vaikutuksista ihmisen terveyteen, hyvinvointiin ja suorituskykyyn. Valolla on todistettu olevan mahdollista vaikuttaa esimerkiksi ihmisen vuorokausirytmiiin tai keskittymiskykyyn, nämä ovat hyvin laaja-alaisesti hyödynnettäviä mahdollisuuksia eri ympäristöissä. Lisäksi on huomioitava, että valo sinällään lienee maailmanlaajuinen aihe. Tuskin on kovinkaan montaa ihmistä, kenen verkkokalvoa tai ihoa ei yksikään fotoni milloinkaan tavoita. Niinpä on ymmärrettävää halu yrittää hyödyntää koko valtava potentiaali, joka valolla on saavutettavissa esimerkiksi ohjailemalla ihmisten vuorokausirytmiiä parempaan suuntaan. Tässäkin opinnäytetyössä kootuissa tutkimuksissa kuitenkin osoitetaan, että valaistuksella voidaan myös edesauttaa rakennuksen käyttäjiä suoriutumaan eri tehtävistä paremmin, kunhan valaistus on suunniteltu ja toteutettu juuri kyseisiä tehtäviä silmällä



pitäen. Myös tämä käyttäjän tarpeiden huomiointi on suuri osa ihmiskeskeistä valaistusratkaisua.

Lighting European määritelmässä oli mainittu myös emotionaaliset hyödyt. Tästä voisi esittää kysymyksen, onko esimerkiksi arkkitehtuurivalaistus tai valotaide myös ihmiskeskeistä valaistusta? Jos valaistuksella voidaan tuoda jonkinlaista lisäarvoa ja viihtyvyyttä esimerkiksi kaupunkiympäristöön ja näin ollen kohottaa ihmisten mielialaa, on sillä kai tällöin saavutettu hyvinvointia kohottava vaikutus. Toisaalta myös ihmisillä on erilaisia mieltymyksiä valaistukselle eri tilanteissa ja mikäli aiotaan edelleen pitää ihminen keskiössä, pitäisi näitä eri mieltymyksiä huomioida. Tarkkojen rajalinjojen piirtäminen on siis hieman hankalaa ja voisi kuvitella, että käsitteen sisältö tulisi elämään vielä ajan saatossa. Tärkeintä ihmislähtöisessä valaistuksessa on muistaa, ettei kahta täysin samanlaista asiakasta ja tarvetta välttämättä tule vastaan. Jokainen projekti tai kohde tulee suunnitella ja toteuttaa sen hetkisen asiakkaan tarpeet ja toiveet täyttäen, kuten kuvan 6 Lighting European infografiikkakin kertoo. Valaistussuunnittelulla ei siis voida luoda mitään valmista pakettia sopimaan jokaiseen kohteeseen.

**We need the right light for our activities at the right place at the right time**



**Each lighting application has its own specific needs**



KUVA 6. HCL-infografiikka, käyttäjän tarpeet valaistukselle (Lighting Europe)

Tällä hetkellä valaistussuunnittelua ei kunnolla ohjata ihmiskeskeisen valaistuksen suuntaan esimerkiksi standardien vaatimuksilla. Esimerkiksi SFS-EN 12464-1 (2011) työkohteiden valaistus -standardi toteaa lyhyesti valon vaikutukset ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin, muttei suoraan vaadi niiden suhteen mitään. Kansainvälinen WELL Building -standardi puolestaan vaatii valaistukselta huomattavasti enemmän ja huomioi erityisesti ihmiskeskeistä valaistusta. WELL Building -standardi ei kuitenkaan ole mikään yleinen rakentamista ohjaava velvoite, vaan osoitus tietynlaiset kriteerit täyttävästä rakennuksesta, kuten LEED tai BREEAM. (SFS-EN 12464-1 2011; The WELL Building Standard 2018)

### **3.2 WELL Building -standardi valaistuksen näkökulmasta**

International Well Building Instituten (IWBI) määrittelemän WELL Building -standardin tarkoitus on edistää rakennuksessa olevien ihmisten terveyttä ja hyvinvointia. Sisältö on jaettu seitsemään pääosioon, joista valaistus on yksi. Mikäli kohde täyttää kylliksi osa-alueiden vaatimuksia ja saa riittävästi pisteitä, myönnetään siitä osoituksena WELL-sertifikaatti. Valaistuksen osiossa standardin vaatimusten täyttämiseksi on neljä edellytettyä osa-aluetta, joista yksi on valaistuksen suunnittelu sirkadianirytmii huomioiden (Circadian lighting design). Tämä osa-alue ottaa kantaa vaadittaviin valaistustasoihin käyttäen yksikkönään ipRGC-solujen spektriherkkyydellä painotettua valaistusvoimakkuutta Equivalent Melanopic Lux (EML), joka tulee mitata 1,2 m korkeudelta vertikaalitasolla. Lisäksi esimerkiksi kouluympäristöissä vaadittu taso pitää standardin vaatimusten mukaan säilyttää vähintään neljä tuntia päivässä jokaisena päivänä vuodesta. (The Well Building Standard 2018.)

WELL Building -standardi antaa siis huomattavasti tarkempaa ohjeistusta ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluun, kuin esimerkiksi SFS EN 12464-1 (2011) -standardi tai muut sertifikaatit kuten LEED ja BREEM. Valaistuksen osalta WELL vaatii myös SFS-EN 12464-1 (2011) -standardistakin tuttuja asioita, kuten riittävän valaistusvoimakkuuden työtasolle ja häikäisyn hallinnan. Lisäksi standardissa on valinnaisia kohtia valaistuksesta lisäpisteitä varten sisältäen esimerkiksi yöllisen valon (Night light), päivänvalon



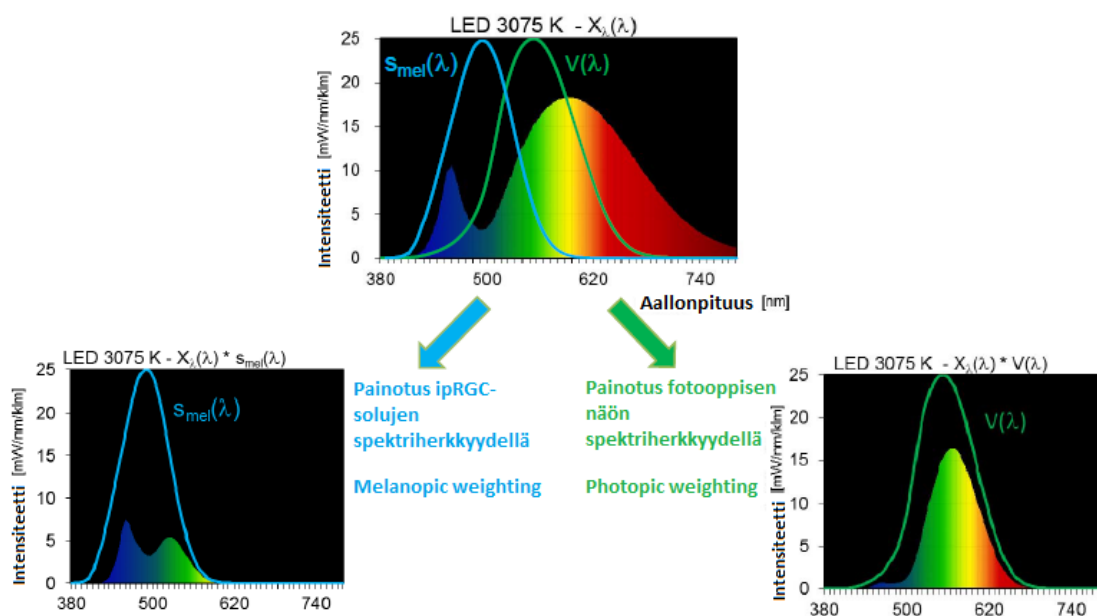
aukkojen sijoittelun (Daylight fenestration) ja sirkadiaanisen jäljittelyn (Circadian emulation) eli esimerkiksi auringonnousun jäljittelyn. WELL-standardi on kokonaisuudessaan erittäin tutustumisen arvoinen, mikäli on kiinnostunut valaistussuunnittelusta ylipääntään, ihmiskeskeisestä valaistuksesta tai koko rakennuksen suunnittelusta käyttäjien terveyttä ja hyvinvointia ajatellen. IWBI:n kotisivuilla on tällä hetkellä rekisteröitynä kaksi WELL-kohdetta Suomesta. Kuvassa 9 näkyy tummansinisellä vaaditut neljä osa-aluetta ja vaaleansinisellä valinnaiset lisäpisteitä tuottavat osa-alueet. (The WELL Building Standard 2018.)



KUVA 9. WELL Building -standardin valaistusta koskevat osa-alueet. (Luxreview 2018.)

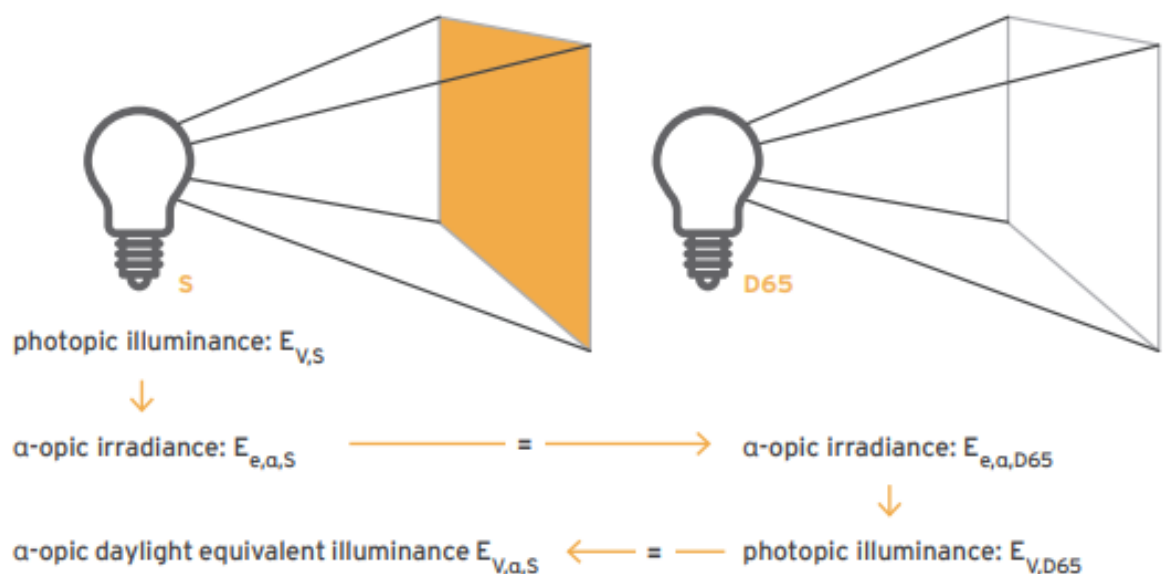
### 3.3 Valonlähteiden ei-visuaalinen arviointi

Valon ei-visuaalisia vaikutuksia koskevien tutkimusten tai valaistussuunnitelmien vertailu ja arvioiminen keskenään on vaikeaa, mikäli se aiotaan tehdä yleisesti käytössä olevilla SI-järjestelmän mukaisilla mittayksiköillä. Miten verrata esimerkiksi valaistussaneerauksen vaikutuksia, jossa vanhat loisteputkivalaisimet korvataan led-valaisimilla ja valaisimien ominaisuudet menevät täysin uusiksi, jos käytössä on kandelat, luksit jne? Tämän ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty oma mittayksikkönsä, päivänvaloa vastaava painotettu valaistusvoimakkuus (engl. Melanopic Daylight Equivalent Illuminance, MDEI), joka on esitelty Lighting for People raportissa “Report on Metric to Quantify Biological Light Exposure Doses”. Raportissa on esitelty kaksi eri tapaa, miten eri valonlähteet ja valaistusvoimakkuudet voidaan muuntaa vertailukykyisiksi keskenään. Ensimmäinen tapa on painottaa kulloinkin kyseinen valaistusvoimakkuus tai intensiteetti halutun fotoreseptorin spektriherkkyyskäyrällä. Tästä tuloksena saadaan joko painotettu alfa- eli  $\alpha$ -opic illuminance (valaistusvoimakkuus) tai  $\alpha$ -opic irradiance (intensiteetti), joissa  $\alpha$  merkitsee kulloinkin kyseessä olevaa fotoreseptoria. Tässä tapauksessa ajatellaan sen merkitsevän ipRGC-soluja haluttaessa verrata eri valonlähteiden vaikutuksia melatoninin tuotantoon (melanopic weighting). Kuvassa 7 näkyy spektriherkkyyskäyrällä painottamisen idea. (Giménez, Schlangen, Lang, Beersma, Novotny, Plischke, Wulff, Li-nek, Cajochen, Löffler, Lasauskaite, Bhusal & Aaltonen. 2016.)



KUVA 7. Spektriherkkyyskäyrällä painottaminen (Muokattu. Alkuperäinen kuva Lighting for people Lang 2016.)

Toinen tapa on ilmaista tarvittava päivänvalon määrä, joka saisi aikaan vastaavan aktiivisen vaikutuksen haluttuun fotoreseptoriin, kuin käytössä oleva valonlähde. Tätä mittayksikköä kutsutaan nimellä  $\alpha$ -opic daylight equivalent illuminance  $E_{V,a,S}$ , josta voidaan käyttää myös luvun alussa mainittua mittaria Melanopic Daylight Equivalent Illuminance (MDEI) tarkoittaen jälleen pyrkimystä tarkastella vaikutuksia ipRGC-soluihin. Tämä jonkin tietyn valonlähteen  $S$  päivänvaloa vastaava painotettu valaistusvoimakkuus  $E_{V,a,S}$  vastaa CIE:n määritelmän mukaisen D65-standardivalaisimen valaistusvoimakkuutta  $E_{V,D65}$  tilanteessa, jossa tämä D65-valaisin tuottaa painotetun intensiteetin ( $\alpha$ -opic irradiance)  $E_{e,a,D65}$ , joka puolestaan vastaa valonlähteen  $S$  painotettua intensiteettiä  $E_{e,a,S}$ . Tämä periaate on esitelty kuvassa 8. Lighting for People:lla on kuitenkin käytössään makroiin perustuva Excel-työkalu HCL Toolkit helpottamaan tätä vertailua eri valonlähteiden välillä. (Giménez ym. 2016.)



KUVA 8. Päivänvaloa vastaavan painotetun valaistusvoimakkuuden (MDEI) laskenta (Giménez ym. 2016.)

Luxreview-sivustolla alkuvuodesta 2017 julkaistussa artikkelissa Mariana Figueiro ja Mark Rea esittävät pohdintaa koskien nimenomaan ihmiskeskeisen valaistuksen mittarointia. Heidän mielestään sopivan mittayksikön kehittämisessä on vielä tekemistä. Perusteena he esittävät tutkimustulokset, jotka osoittavat akuutin yöllisen melatoniinin tuotannon rajoituksen spektriherkkyden piikin olevan noin 460 nm, kun ipRGC-solujen sisältämän melanopsiinin kohdalla piikki on aiemmin mainitun 480 nm kohdalla. Lisäksi,

kuten luvussa 2.1 mainitaan, myös Figueiro ja Rea uskovat verkkokalvon muiden fotoreseptoreiden eli tappi- ja sauvasolujen sisältämällä fotopigmenteillä olevan vaikutus ipRGC-solujen saamiin signaaleihin. Näin ollen suprakiasmaattista tumaketta aktivoiva spektri on heidän mukaansa laajempi, kuin esimerkiksi pelkästään 480 nm huipun perusteella piirretty painotuskäyrä. Myös heidän edustamansa Lighting Research Center on kotisivuillaan julkaissut Excel-työkalun, Circadian stimulus calculator, laskemaan eri valonlähteiden sirkadiaanirytmää stimuloivaa vaikutusta. Kyseinen laskuri on ladattavissa Lighting Research Centerin kotisivuilta. (Figueiro & Rea 2017.)

## 4 IHMISKESKEISEN VALAISTUKSEN TUTKIMUS

Ihmiskeskeisestä valaistuksesta yleisesti sekä kouluympäristöjä koskien on tehty jo melko paljon tutkimuksia. Seuraavissa luvuissa on referoituna näitä kansainvälisesti tehtyjä tutkimuksista koskien valon ja valaistuksen eri ominaisuuksia. Tutkittaessa valon vaikutuksia kouluympäristöissä pitää ottaa huomioon vaikutusten tyyppien vaihtelevuus. Osa tutkimuksista osoittaa valon suoria hyötyjä esimerkiksi lukunopeuden tai tarkkaavaisuuden parantumisena. Toisaalta taas ne tutkimukset, jotka osoittavat valon vaikutuksen esimerkiksi vuorokausirytmien ylläpitämiseen aiheuttavat ennemminkin pitkän aikavälin vaikutuksia. Tällaisia pitkän aikavälin vaikutuksia ovat esimerkiksi yleinen jaksaminen ja keskittymiskyky koulussa ja tätä kautta koulumenestyksen parantuminen.

### 4.1 Tutkimukset koskien valon vaikutusta sirkadiaanirytmiiin

Valon vaikutukset sirkadiaanirytmiiin ovat, kuten jo aiemmin mainittu, ehkä suurin yksittäinen osa-alue, joka yleensä otetaan huomioon ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa. Niinpä on luontevaa aloittaa tutkimusten koonti käsittelemällä ensimmäisenä tutkimuksia koskien nimenomaan valon vaikutuksia sirkadiaanirytmiiin. Tutkimuksia on kootuna kolme kappaletta, joista kaikista löytyy myös kouluympäristöihin sovellettavaa sisältöä.

#### 4.1.1 Valo-pimeärytmien kontrolloiminen vs. uni-valverytmien kontrolloiminen

Appleman, Figueiro ja Rea (2013) ovat tutkimuksessaan (Controlling light-dark exposure patterns, rather than sleep schedule, determines circadian phase) osoittaneet, että vaikuttamalla siihen millaiselle valolle ja minä ajanhetkenä ihminen altistuu, on suurempi vaikutus sirkadiaanirytmiiin, kuin itse toteutetulla uni-valverytmien aikatauluttamisella. Applemanin ja kumppaneiden tutkimukseen osallistuivat 21 aikuista, jotka tutkimuksen alussa pitivät viisi päivää normaalin vuorokausirytmensä, jonka jälkeen heidän sirkadiaanirytmien vaihe arvioitiin sylkinäytteestä mitatulla melatoniinin määrällä. Lisäksi heidän tuli raportoida, millainen oli heidän normaali uni-valverytmensä näiden viiden päivän aikana. Seuraavat seitsemän päivää he olivat sattumanvaraisesti jaettuna unirytmiiä edistä-

vään ja unirytmia jättävään ryhmään. Testiviikon ajaksi jokaiselle oli ryhmästä riippumatta annettu henkilökohtainen 90 minuuttia aikaistettu aikataulu nukkumaanmenoa ja heräämistä koskien perustuen heidän itse raportoimaansa uni-valverytmiin. (Appleman ym. 2013.)

Ryhmille oli annettu mukaan sinisiä, alle 523 nm, aallonpituuksia suodattavat oranssilasit sekä lähes monokromaattista sinistä valoa ledeillä tuottavat sininen valo -lasit, joiden ledien valon spektrin piikki oli noin 476 nm ja valaistusvoimakkuus 40 lx sarveiskalvon tasolla. Rytmia edistävälle ryhmälle oli ohjeistettu aamulla välittömästi aikataulutetun heräämisen jälkeen kahden tunnin sininen valo -lasien käyttö ja illalla ennen aikataulutettua nukkumaanmenoa kolmen tunnin oranssilasien käyttö. Rytmia jättävälle ryhmälle lasien käyttö oli päinvastainen, eli oranssilaseja aamulla kaksi tuntia ja sininen valo -lasia illalla kolme tuntia. Koeviikon jälkeen rytmiä aikaistavalla ryhmällä sirkadianirytmia edisti  $132 \pm 19$  minuutilla, kun rytmiä jättävällä ryhmällä sirkadianirytmia jättäti  $59 \pm 7,5$  minuutilla. Näin ollen valolle altistumista kontrolloimalla saatiin aikaiseksi sirkadianirytmia sekä edistävä, että jättävä vaikutus, vaikka molemmilla ryhmillä oli aikaistettu uni-valverytmin aikataulu. (Appleman ym. 2013.)

#### **4.1.2 Eri pituisten kirkkaan valon jaksojen aiheuttamat vasteet ihmisillä**

Toisessa tutkimuksessa (Human responses to bright light of different durations) 39 aikuista, keski-ikältään noin 22 vuotta, osallistuivat yhdeksän päivän mittaiseen tutkimusjaksoon, jonka aikana oli tarkoitus selvittää kirkkaan valon valotusajan vaikutusta sirkadianirytmien siirtymiseen. Aluksi kaikki osallistujat määrättiin kolmen vuorokauden ajan nukkumaan noin kahdeksan tunnin yöunet. Neljännen päivän aamusta alkoi 50 tunnin mittainen vakio-olosuhdejakso, jolloin kaikki osallistujat asuivat täysin samoissa olosuhteissa ja jonka aikana heidän sirkadianirytmensä vaihe pystyttiin arvioimaan. Vakio-olosuhdejakson jälkeen osallistujat nukkuivat kahdeksan tuntia, jota seuranneena päivänä oli neljän ja puolen tunnin mittainen testiosuus alkaen kuusi tuntia heräämisen jälkeen. Testiosuutta varten osallistujat olivat sattumanvaraisesti jaettu ryhmiin, jotka altistuivat kirkkaalle valolle,  $> 6000$  luksia sarveiskalvon tasolla, joka oli tuotettu 4100 kelvinin loisteputkivalaisimilla. Osallistujista 30 oli jaoteltu valotusajan mukaan 1-, 2,5-, ja 4-tunnin ryhmiin. Jälkikäteen yhdeksän hengen ryhmälle tehtiin sama koe 0,2 tunnin valotusajalla. Testijakson jälkeen osallistujat nukkuivat kahdeksan tuntia, jota seurasi 30 tunnin vakio-

olosuhdejakso sekä sirkadiaanirytmien arviointi ja vielä yksi kahdeksan tunnin unijakso. (Chang, Santhi, St Hilaire, Gronfier, Bradstreet, Duffy, Lockley, Konhauer ja Czeisler. 2012.)

Sirkadiaanirytmien siirtymistä arvioitiin laskemalla sen vaiheen erotus ennen ja jälkeen testijakson tehdyistä arvioista. Tulokset osoittavat, että sirkadiaanirytmien tahdistus muuttuu riippuen valotusajan määrästä, mutta ei lineaarisesti. Vertailtaessa tahdistuksen siirtymää valotusajan pituuden funktiona per minuutti oli 0,2 tunnin valotusaika yli viisinkertaisesti tehokkaampi ( $1,07 \pm 0,36$  h), kuin 4 tunnin valotusaika ( $2,65 \pm 0,24$  h). Akuutti melatoniinin tuotannon rajoittaminen sekä subjektiivinen uneliaisuus näyttivät tulosten mukaan myös riippuvan valotusajan kestosta. (Chang ym. 2012.)

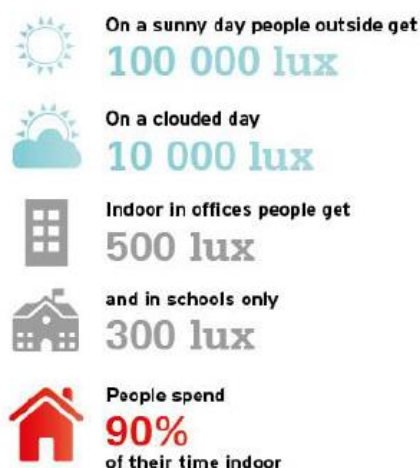
#### **4.1.3 Valkoisen valon vaikutukset melatoniinintuotantoon nuorilla ja aikuisilla**

New Yorkissa sijaitseva The Lighting Research Center on kotisivuiltaan löytyvässä koosteessa eräästä tutkimuksesta todennut, että nuoret näyttäisivät olevan alttiimpia sinisen valon melatoniinin tuotantoa rajoittaville vaikutuksille, kuin vanhemmat aikuiset (White Light's Effect on Melatonin in Adolescents and Older Adults n.d.). Tämä korostaa valaistuksella saavutettavia hyötyjä nimenomaan kouluympäristöissä. Edellä esiteltyä teoriaa tukee myös tieto siitä, että ihmisen silmän mykiö kellastuu iän myötä, mikä vähentää valon lyhyiden aallonpituuksien päätymistä verkkokalvolle asti.

#### **4.1.4 Koonti tutkimuksista koskien valon vaikutusta sirkadiaanirytmiiin**

Edellä käsitellyt tutkimukset antavat paljon erilaista tietoa tueksi siihen, miten kouluympäristöissä tulisi valaistus- ja päivänvalosuunnittelua toteuttaa. Ensinnäkin ne tukevat dynaamisen valaistuksen ohjauksen asentamista, jotta aamulla saataisiin tahdistettua sirkadiaanirytmien vastaamaan ulkoista vuorokausirytmää. Tämän kautta voitaisiin positiivisesti vaikuttaa oppilaiden jaksamiseen koulussa, mutta tämän lisäksi on unenlaadulla ja määrällä on todettu olevan vaikutusta oppimiseen (Sallinen 2013). Toisaalta nämä tutkimukset osoittavat myös ulkona olemisen ja luonnonvalon merkityksen. Millään keinovalonlähteellä ei pystytä tuottamaan samanlaista valaistusvoimakkuutta ja spektrin vaihtelua

laajalla alueella tai isommassa tilassa, kuin aurinko saa aikaan ulkona. Tästä hieman lukuja Lighting for Peoples julkaisemassa grafiikassa, josta kuvakaappaus kuvassa 10. Näin ollen pitäisi päivänvalon hyödyntäminen huomioda koulujen suunnittelussa erityisen huolellisesti. Toisaalta myös tuntien ja välituntien jaksottaminen pitäisi miettiä siten, että oppilaat ja henkilökunta saavat mahdollisuuden viettää päivän aikana riittävästi aikaa luonnonvalossa.



KUVA 10. HCL-infografiikan valaistusvoimakkuuslukuja (Lighting Europe)

## 4.2 Valon spektriä koskevat tutkimukset

Kuten aiemmin luvussa 2 todettiin, on verkkokalvon ipRGC-solujen spektriherkkyyksmaksimi noin 480 nm sinivihreän valon alueella ja näin ollen myös melatoniinin tuotannon rajoittamiseen on suuri vaikutus tällaisella valolla. Tehdyissä tutkimuksissa on kuitenkin saatu tuloksia, jotka osoittavat, että punaisella valolla voidaan saavuttaa samankaltaisia vaikutuksia, kuin valon sinisillä aallonpituuksilla. Tutkimukset on otettu mukaan osoitukseksi siitä, että koko valon spektrin vaikutuksia ei vielä tarkkaan tunneta ja on mahdollista, että valon siniset aallonpituudet eivät ole ainoa tapa lähestyä ihmiskeskeisten valaistusratkaisujen terveyden ja hyvinvoinnin vaikutuksia. Näin ollen tässä luvussa esitellään tutkimuksia koskien sinisen ja punaisen valon vaikutuksia ihmiseen tarkastellen kyseisiä valoja lähes monokromaattisina.



#### 4.2.1 Punaisen ja sinisen valon vaikutukset valppauteen ja mielialaan yöllä

Plitnick, Figueiro, Wood ja Rea (2009) tutkivat lyhyen aallonpituuden sinisen (piikki 470 nm) ja pitkän aallonpituuden punaisen (piikki 630 nm) valojen vaikutusten mahdollisia eroja koskien valppautta ja mielialaa yöllä (The effects of red and blue light on alertness and mood at night). Molemmat valaistukset olivat ledeillä toteutettuja ja lähes monokromaattisia. 22 aikuista osallistui tutkimukseen, jossa he tulivat altistetuksi siniselle ja punaisella valolla kahdella eri valaistusvoimakkuudella 40 lx ja 10 lx sarveiskalvon tasolla. Valaistus toteutettiin laatikoiden avulla, joiden sisällä oli kulloinenkin testattava valaistusolosuhde ledeillä toteutettuna. Koehenkilöt asettivat leukansa tuelle, jolloin silmien etäisyys laatikon katseluaukoista pysyi joka tilanteessa samana. Puolet koehenkilöistä näkivät ainoastaan sinistä ja toinen puoli ainoastaan punaista valoa, näin minimoitiin vääristymät, jotka voisi johtua henkilökohtaisista mielipiteistä eri väreihin. Lisäksi valaistusolosuhteet oli tehty vastaavanlaisiksi molemmilla väreillä nimenomaan valaistusvoimakkuuden ja visuaalisen vasteen osalta. Mikäli olisi haluttu toteuttaa sirkadiaanivasteen osalta samankaltaiset valaistukset, olisi punaisen valon kirkkauden pitänyt olla huomattavasti kirkkaampi, kuin sininen. Tällöin ei olisi pystytty arvioimaan olisiko mahdolliset erot johtuneet kirkkaudesta valon värin sijaan. Koehenkilöt saapuivat laboratorioon kello 23.00 valmisteluja varten, koe alkoi kello 00.00 ja piti sisällään tunnin hämäräjakson, tunnin valojakson ja vielä yhden tunnin hämäräjakson päättyen näin kello 03.00 (Plitnick ym. 2009.)

Koehenkilöitä arvioitiin EEG- ja EKG- käyrien eli aivosähkökäyrän ja sydänfilmin avulla. Itsearviot koskien uneliaisuutta, valppautta ja mielialaa tehtiin käyttäen KSS Karolinska Sleepiness Scale -asteikkoa (Kuva 11), muokattua Norris mood scale -asteikkoa sekä PANAS Positive and Negative Assessment Scale -asteikkoa. Jokaista tutkittavaa asiaa mitattiin tai arvioitiin ennen valoaltistusta, sen aikana ja sen jälkeen. Tuloksista huomattiin sekä sinisen että punaisen valon vähentävän itsearvioitua uneliaisuuden määrää ja kohottavan arvioita mielialasta. Aivosähkökäyrän mittauksissa huomattiin molempien valon värien aiheuttavan aktivoivaa vaikutusta verrattuna edeltävään hämäärään tilanteeseen. Lisäksi oli merkkejä vaikutuksen asteittaisesta vähenemisestä valojen poiskytkemisen jälkeen. Johtuen molempien aallonpituuksien samankaltaisista vaikutuksista uneliaisuuteen, valppauteen ja mielialaan näyttäisi siltä, että näihin on mahdollista vaikuttaa välttämättä melatoniinin tuotantoon vaikuttamisen. Valaistusvoimakkuuksien osalta 40 lx sininen aiheutti suuremman positiivisen vaikutuksen valppauteen ja mielialaan kuin

10 lx, punaisella valolla vaikutus meni kuitenkin päinvastoin. Tästä johtuen valaistusvoimakkuuden vaikutuksen osalta jatkotutkimukset ovat tarpeellisia, jotta mahdollisista eroista ja niiden syistä voitaisiin varmistua. (Plitnick ym. 2009.)

1.	Erittäin valpas
2.	Hyvin valpas
3.	Valpas
4.	Melko valpas
5.	Ei valpas eikä unelias
6.	Joitain merkkejä uneliaisuudesta
7.	Unelias, mutta ei vaadi ponnisteluja pysytellä hereillä
8.	Unelias, vaatii jonkin verran ponnisteluja pysyä hereillä
9.	Hyvin unelias, vaatii ponnisteluja pysyä hereillä, taistelee unta vastaan

Kuva 11. KSS-asteikko (Suomennettu. Alkuperäinen kuva Åkerstedt, Anund, Axelsson & Kecklund. 2014.)

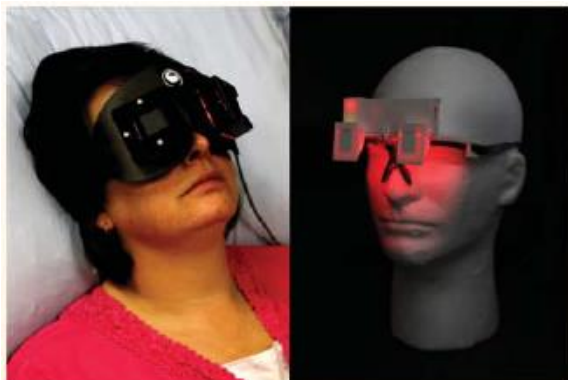
#### 4.2.2 Punaisen ja sinisen valon vaikutukset kortisolin, alfa-amylaasin ja melatoniinin vuorokausivaihteluun.

Figueiro ja Rea (2010) ovat tutkineet myös sinisen ja punaisen valon vaikutuksia akuuteihin melatoniini, kortisoli ja alfa-amylaasi vasteisiin (The Effects of Red and Blue Lights on Circadian Variations in Cortisol, Alpha Amylase and Melatonin). Aho, Haipus ja Väre (2012) kertovat opinnäytetyössään alfa-amylaasin olevan entsyymi, jolla on todettu olevan oma vuorokausirytmensä. Alfa-amylaasin pitoisuus on matala heräämisen jälkeen, mutta se kohoaa pitkin päivää. Lisäksi sitä pidetään biomerkkiaineena sympaattisen hermoston aktiivisuudelle, joka toimii kehossa tapahtuvien stressireaktioiden aiheuttajana. Figueiron ja Rean tutkimukseen osallistui 12 aikuista koehenkilöä, jotka pitivät koetta edeltävän viikon ajan normaalin vuorokausirytmensä. Tutkimuksessa koehenkilöitä altistettiin lähes monokromaattisille siniselle led-valolle (piikki 470 nm) ja punaiselle led-valolle (piikki 625 nm) tunnin jaksoissa. Valaistukset toteutettiin tässäkin tutkimuksessa laatikolla, joka on kuvailtu edellisen tutkimuksen yhteydessä. Koetilanteissa valaistusvoimakkuudet olivat sinisellä ja punaisella valolla 40 lx sarveiskalvon tasolla. Lisäksi toteutettiin kontrollitilanne, jossa koehenkilöt istuivat hämärässä koetilassa < 3 lx valaistuksessa. Koe alkoi perjantaina kello 7.00 ja päättyi seuraavana päivänä kello 10.00 kestäen näin 27 tuntia. Koehenkilöt istuivat paikallaan kahden tunnin jaksoja, joiden välillä oli vapaa-aikaa hämärässä koetilassa. (Figueiro & Rea. 2010; Aho ym. 2012.)

Melatoniinin, kortisolin ja alfa-amylaasin määriä mitattiin koehenkilöiltä otetuilla sylkinäytteillä. Tuloksista huomattiin melatoniinin noudattelevan ennakoitua rytmiä saavuttaen huippuarvonsa kello 00 ja 04 arvojen ollessa matalat kello 12–20. Myös kortisoli noudatti sirkadiaanirytmiiä saavuttaen huippuarvonsa aamulla kello 8 pysyen matalimmillaan ilta kahdeksasta puoleen yöhön. Alfa-amylaasin osalta myös havaittiin sirkadiaanirytmii, jonka huipputasot olivat kello 12–16 ja minimitaso 04. Päivällä melatoniinitasoissa ei ollut eroja eri valaistusolosuhteiden välillä, mutta yöllä sininen valo laski melatoniinitasoja merkittävästi muihin kahteen olosuhteeseen verrattuna. Myöskään kortisolin kohdalla ei päivän tasoissa ollut eroja, mutta yöllä ainoastaan hämärä kontrollivalaistus laski sen tasoa merkittävästi, sinisen ja punaisen valon pitäessä sen tasot korkeammalla. Lisäksi sinisen ja punaisen valon välillä ei ollut keskenään merkittävää eroa niiden vaikutuksissa kortisolitasoihin. Samoin alfa-amylaasi tasoihin sinisellä ja punaisella valolla oli lähes yhtä suuret vaikutukset, kun hämärä kontrollivalaistus aiheutti paljon pienemmän vaikutuksen. Tämäkin tutkimus siis todistaa yöllisen punaisen ja sinisen valon samankaltaiset vaikutukset kortisoliin ja alfa-amylaasiin, jotka on liitetty stressiin ja näin ollen esimerkiksi valppauteen. Melatoniinin osalta vaikutus oli havaittavissa ainoastaan sinisellä valolla ja silläkin yöaikana melatoniinin tuotannon ollessa korkeimmillaan. Eli yhteenvetona kortisoliin ja alfa-amylaasiin oli mahdollista vaikuttaa muullakin, kuin sinisellä valolla. (Figueiro & Rea. 2010.)

### 4.2.3 Punaista valoa uni-inertian vähentämiseksi

The Lighting Research Center on julkaissut myös sinisen ja punaisen valon osalta useista tutkimuksista koosteita kotisivuillaan. Eräässä tutkimuksessa on todettu lähes monokromaattisen yöllisen punaisen valon vähentävän uni-inertiaa ja parantavan suorituskkyä testeissä välittömästi heräämisen jälkeen verrattuna pelkässä hämärässä nukkumiseen tai hämärässä suoritettuihin testeihin. Tästä tuloksesta on ajateltu olevan hyötyä esimerkiksi ammattiteissa, joissa pitää herätä keskellä yötä valppaana kuten palomies tai armeijassa työskentelevät henkilöt. Kyseisessä tutkimuksessa käytetyt punaista valoa tuottavat lasit ja maski näkyvät kuvassa 12. (Red Light Delivered During Sleep to Reduce Sleep Inertia n.d.).



KUVA 12. Punaista valoa tuottava maski ja -lasit (Red Light Delivered During Sleep to Reduce Sleep Inertia n.d.)

#### 4.2.4 Punaisen ja sinisen valon vaikutukset valppauteen iltapäivällä

Toisessa The Lighting Research Centerin julkaisussa on käsitelty tutkimusta, jossa on vertailtu lähes monokromaattisilla punaisella ja sinisellä valolla saavutettavia vaikutuksia iltapäivän lounaan jälkeisen väsymyksen aikoihin. Tutkimuksessa huomattiin punaisen valon vähentävän huomattavasti aktiivisuutta aivojen toiminnoissa, jotka on liitetty uneliaisuuteen. Tämä tulos antaa näyttöä jälleen siitä, että melatoniinin kontrollointi ei ole ainoa tapa vaikuttaa valppauteen tai uneliaisuuteen. (The Impact of Red and Blue lights on Alertness in the Afternoon n.d.).

#### 4.2.5 Yöllinen valo sekä valppauden ja suorituskyvyn mittaaminen

Lisäksi Figueiro, Sahin, Wood ja Plitnick (2016) ovat tutkimuksessaan vertailleet lähes monokromaattisen punaisen valon (piikki 630 nm) ja valkoisen valon (2568 K) vaikutuksia valppauteen ja suorituskykyyn yöllä verrattuna hämärään valaistukseen (Light at night and measures of alertness and Performance: Implications for Shift-Workers). Tuloksista tekee mielenkiintoisen se, että reaktioajat olivat koehenkilöillä nopeammat punaisessa ja valkoisessa valaistuksessa hämärään verrattuna, mutta vain valkoinen valo rajoitti melatoniinin tuotantoa. (Figueiro ym. 2016)

#### 4.2.6 Valon spektriä koskevien tutkimusten koonti

Yllä olevat tutkimukset puoltavat vahvasti valon spektrin vaikutuksia laajemminkin, kuin sinisen valon avulla. Sinisen valon osalta vain on tiedossa sen reitti ja tapa, miten se vaikuttaa. Näin ollen koko spektrin vaikutukset ovat siis vielä tarkasti selvittämättä. Tulokset saavat pohtimaan onko tietyn värisellä valolla vaikutus ihmiseen nimenomaan väriaistimuksen kautta aallonpituuden lisäksi, sillä kokeissa punainen valo oli lähes monokromaattista eli näkyi punaisen värisenä. Tätä käsitellään lisää luvussa värien psykologia ja valo. Mikäli myöhemmin voidaan osoittaa, että valon punaiset aallonpituudet voivat kohottaa valppautta myös osana valkoista valoa voitaisiin tätä hyödyntää dynaamisessa valaistuksessa myös kouluympäristöissä. Dynaamisissa ohjauksissa aamun valkoisessa valossa olisi tällöin sinisiä aallonpituuksia suurempi osuus, kun iltapäivää kohden voisi punaisten aallonpituuksien osuus kasvaa vaikutuksen valppauteen säilyessä samalla tasolla, mutta sirkadianrytmin tahdistus ei kärsisi. Huomioitavaa on kuitenkin tämän olevan vain päätelmä tutkimustuloksista sisältäen oletuksen, että punaisen valon aallonpituuksilla pystyttäisiin varmasti osoittamaan olevan vaikutus valppauteen, suoriutuskykyyn jne. myös osana valkoista valoa.

#### 4.3 Tutkimukset koskien värilämpötilaa ja dynaamista ohjausta

Ihmiskeskeisten valaistusratkaisujen teknisen toteuttamisen ytimessä ovat älykkäät ohjausratkaisut yhdistettynä valaisimiin, jotka pystyvät tuottamaan halutun spektrin ja värilämpötilan. Tavoitteena on siis luoda dynaaminen valaistus, joka jäljittelee luonnonvalossa päivän aikana tapahtuvia muutoksia (kuva 13). Tässä luvussa on koottuna tutkimuksia koskien värilämpötilan säätämisen ja valaistuksen dynaamisen ohjaamisen vaikutuksia kouluympäristöissä.



KUVA 13. Luonnonvalo muuttuu päivän aikana (Schmitz-leuchten n.d.)

### 4.3.1 Perinteisen ja korkean värilämpötilan valaistuksen vaikutus ala-asteikäisten lähialueen tarkkaavaisuuteen

Bermanin, Navvabin, Martinin, Sheedyn ja Tithofin (2005) suorittamassa tutkimuksessa (A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children) todettiin valaistuksen korkealla värilämpötilalla olevan positiivinen vaikutus oppilaan lähialueen tarkkaavaisuuteen. Tutkimukseen osallistui 27 iältään 10-11-vuotiasta lasta, joiden lähialueen tarkkaavaisuutta mitattiin 400 mm etäisyydeltä käyttäen Bailey-Lovien testitaulua valaistustilanteissa, joiden värilämpötilat olivat 5500 ja 3600 kelviniä loisteputkivalaisimilla tuotettuna. Testipöydän rakenne näkyy kuvassa 14. Tuloksissa huomattiin korkeamman värilämpötilan johtaneen keskiarvoltaan kaksi ja puoli kirjainta parempaan tulokseen kuin matalammassa värilämpötilassa tehdyt testit, vaikka valaistusvoimakkuus molemmissa tilanteissa pysyi lähes samana, noin 350 luksia. Lisäksi tilanteessa, jossa 5500 K valaisimet himmennettiin 50 % valaistusvoimakkuuteen, tulokset pysyivät edelleen keskiarvoltaan noin yhden kirjaimen verran parempana kuin 3600 K tilanteessa, jossa valaistusvoimakkuus oli suurempi. Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin myös oppilaiden pupillinkoon mittauksia korkeassa ja matalassa värilämpötilassa. Tuloksissa huomattiin pupillin koon olevan merkittävästi pienempi korkeassa värilämpötilassa. Tämän todettiin edesauttavan lähialueen tarkkaavaisuutta vähentämällä näkökentän äärialueilta tulevia haittoja. (Berman ym. 2005.)



KUVA 14. Testipöytä, jossa narun koskettaessa nenää etäisyys tauluun pysyi vakiona (Berman ym. 2005.)

#### 4.3.2 Värilämpötilan ja valon ajoituksen vaikutus valppauteen luentoympäristöissä

Aalto-yliopistossa Rautkylä, Puolakka, Tetri ja Halonen (2010) puolestaan ovat tutkineet värilämpötilan ja valolle altistumisen ajoituksen vaikutuksia yliopisto-opiskelijoiden valppauteen ja uneliaisuuteen luentojen aikana (Effects of Correlated Colour Temperature and Timing of Light Exposure on Daytime Alertness in Lecture Environments). Tutkimus suoritettiin kahdessa osassa, keväällä päivän pituuden ollessa kaksitoista tuntia ja syksyllä päivän pituuden ollessa yhdeksän tuntia. Opiskelijoita altistettiin sattumanvaraisesti 4000 K ja 17000 K värilämpötilan loisteputkivalaistuksille (kuva 15) kuitenkin yhteensä yhtä monta kertaa molemmille. Valaistusvoimakkuus oli molemmilla värilämpötiloilla sama, tutkimuksen ensimmäisessä osassa 800 lx ja toisessa 1000 lx 0,8m työalueen korkeudella. Opiskelijat arvioivat itseään testiluennoilla, jotka järjestettiin lounaan molemmin puolin. Jälkimmäisessä osassa syksyllä testiluentojen väliä kasvatettiin kevästä, jolloin testit saatiin suoritettua huomattavasti pimeämpään aikaan kuin keväällä. (Rautkylä ym. 2010.)



KUVA 15. 4000 K ja 17000 K valaistukset luentosalissa. (Rautkylä ym. 2010.)

Tuloksista huomattiin, että syksyllä niin sanottua post-lunch dip -efektiä, eli lounaan jälkeistä väsymystä, eivät opiskelijat itsearvioinneissa raportoineet ollenkaan 17000 K värilämpötilassa toisin kuin 4000 K värilämpötilassa. Kevään tutkimuksessa taas ei huomattu mitään yhteyttä värilämpötilan ja valppauden välillä. Lisäksi opiskelijat eivät raportoineet valppaudessaan juurikaan muutoksia keväällä eri värilämpötilojen tai eri aikaan päivästä pidettävien luentojen välillä toisin, kuin syksyllä. Tästä syystä ovat tutkijat ehdottaneet, että edeltävällä valolle altistumisella, josta he käyttävät nimitystä valohistoria, olisi myös merkitystä keinovalolla saavutettaviin vaikutuksiin. Tämä perustui siihen,

että keväällä vertikaalivalaistusvoimakkuudet ulkona 1,6 m korkeudella olivat aamupäivän luennon aikaan 4000 lx ja iltapäivän luennon aikaan 13000 lx, kun taas syksyllä vastaavat luvut olivat 100 lx ja 2000 lx. Koe antaa näyttöä dynaamisesti toteutetulla yleisvalaistuksella saavutettavista hyödyistä, jolloin erityistä valohoitoa ei välttämättä tarvittaisi. (Rautkylä ym. 2010.)

### **4.3.3 Dynaamisen valaistuksen vaikutukset oppimiseen**

Väriämpötilan vaikutusta 7-8-vuotiaiden oppilaiden sujuvaan lukemiseen ovat tutkineet Mott, Robinson, Walden, Burnette ja Rutherford (2012). Tutkimuksessa (Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning) oppilaat jaettiin normaali- ja koeryhmään. Normaaliryhmällä valaistusolosuhteet olivat 350 luksia työalueella 3500 kelvinin loisteputkivalaisimilla tuotettuna. Koeryhmän luokassa oli asennettuna Philips School Vision -valaistusjärjestelmä. Koeryhmälle ohjattiin järjestelmän Focus-tilanne päälle aina opetuksen sisältäessä lukemisen sujuvuuteen vaikuttavaa sisältöä. Focus-tilanteessa valaistusvoimakkuus kasvaa 1000 luksiin ja väriämpötila on 6500 kelviniä. Tutkimus suoritettiin aikavälillä syyskuusta toukokuuhun yhteensä siis yhdeksän kuukauden ajalla. Arviointi tehtiin käyttäen AIMSweb-arviointimenetelmää, jossa tutkitaan oikein luettujen sanojen määrää minuuttia kohden. Molemmat ryhmät testattiin normaaliryhmän valaistusolosuhteissa. Tutkimuksen aikana koeryhmän tulokset sujuvan lukemisen osalta paronivat 36 % ja normaaliryhmän osalta 17 %. Tutkimus siis osoittaa valaistusolosuhteilla olevan vaikutusta jo opetuksen ja oppimisen aikana, sillä koetilanteessa molemmilla ryhmillä oli sama normaaliryhmän valaistus 350 luksia ja 3500 kelviniä. (Mott ym. 2012.)

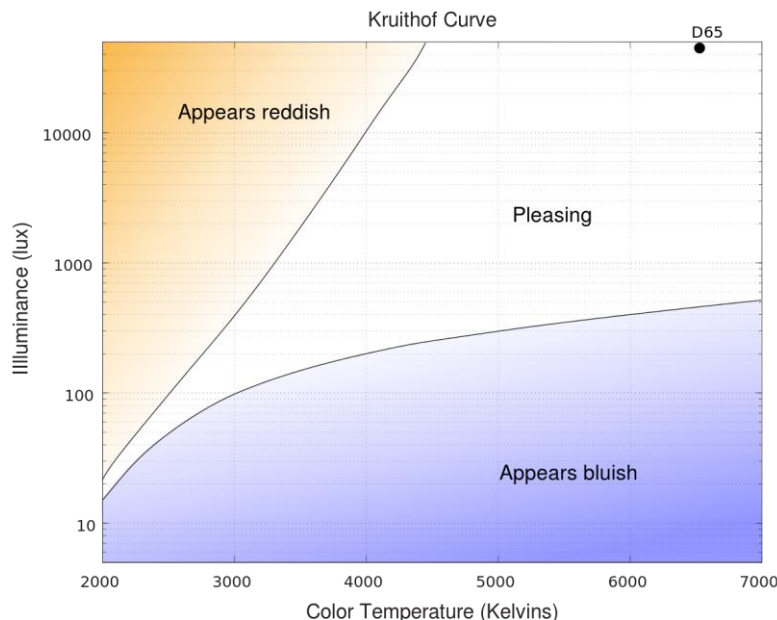
### **4.3.4 Koonti tutkimuksista koskien väriämpötilaa ja dynaamista ohjausta**

Edellä mainitut tulokset ovat merkittäviä valaistuksen dynaamista ohjausta ajatellen. Varsinkin ensimmäinen tutkimus (luku 4.3.1) antaa viitteitä siitä, että hyvää tarkkaavaisuutta ja keskittymistä vaativissa tilanteissa väriämpötilan ja valaistusvoimakkuuden tulisi olla korkea. Tämän lisäksi viimeinen edellä käsitellyistä tutkimuksista (luku 4.3.3) osoittaa valaistuksen merkityksen jo opetuksen ja oppimisen aikana pelkkien koetilanteiden lisäksi. Tuloksilla on myös taloudellisessa mielessä merkitystä, sillä niiden mukaan sama tarkkaavaisuuden taso voidaan saavuttaa pienemmälläkin energiankulutuksella, mikäli



väriämpötila on vastaavasti korkeampi. Tulokset antavat näyttöä myös valaistuksella saavutettavissa olevista välillisistä vaikutuksista. Mikäli valaistusolosuhteet voivat edesauttaa oppilaiden lukemisen sujuvuutta ja sen kehittymistä, lienee tämän luonnollinen vaikutus myös oppimistulosten paraneminen kaikkien lukutaitoa vaativien aineiden osalta. Myös lounaan jälkeisen väsymyksen välttäminen valaistuksen avulla alleviivaa oikeanlaisen ja oikein ajoitetun valaistuksen yhdistelmän tärkeyttä. Lisäksi Rautkylän ja kumppaneiden tutkimus nostaa esille termin valohistoria, jonka merkitystä keinovalolla saavutettaviin vaikutuksiin ei vielä kovin laajalti ole tutkittu.

Väriämpötilaa ja valaistusvoimakkuutta tulisi kuitenkin aina vertailla yhtenäisenä kokonaisuutena. Kuten Kruithofin käyrästä kuvassa 16 käy ilmi, voidaan tilan valaistus kokea liian punaiseen taittuvaksi, mikäli väriämpötila on matala ja valaistusvoimakkuus korkea. Tästä on hyvä esimerkki vanhat suurpainenaatriumlampuilla valaistut kasvihuoneet. Toisaalta taas korkeilla väriämpötiloilla tilan valaistuksen voidaan kokea taittuvan liikaa siniseen, mikäli valaistusvoimakkuutta ei ole riittävästi. Esimerkiksi ulkona päivänvalossa keskipäivällä väriämpötila on yleensä 5000 K ylöspäin, mutta vastaavasti valaistusvoimakkuudet ovat myös hyvin suuria, jolloin tätä valoa ei koeta liian siniseksi.



KUVA 16. Kruithofin käyrä (Ashdown 2015.)

#### 4.4 Valonjakoa koskevat tutkimukset

Luvussa 2 todettiin, että mikäli valolla halutaan aiheuttaa vaikutuksia nimenomaan sirka-diaanirytmiiin, on sen oltava laajalta pinnalta säteilevää ja sen pitää saapua verkkokalvolle tietyllä valaistusvoimakkuudella. Näin ollen on valonjaolla suuri merkitys suunniteltaessa ihmiskeskeistä valaistusta. Tässä luvussa kootut tutkimukset osoittavat tämän todeksi, sekä lisäksi osoittavat ihmisillä olevan luontainen taipumus säätää valaistus luonnonvaloa mukailevaksi perinteisen ylhäältä suoralla valonjaolla suunnatun keinovaloratkaisun sijaan.

##### 4.4.1 Ympäröivän valon vaikutus koululaisilla

Goven, Laike, Raynham ja Sansal (2009) ovat toteuttamassaan tutkimuksessa selvittäneet, millainen vaikutus ympäröivällä valolla on ala-asteikäisiin lapsiin kouluympäristössä (Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children). Tutkimuksessa neljä kahdessa eri kerroksessa sijaitsevaa luokkahuonetta jaettiin koeluokkiin E1 ja E2 sekä kontrolliluokkiin C1 ja C2. Luokat E1 & C1 sijaitsivat maantason kerroksessa sisältäen yhden ikkunaseinän ja luokat E2 & C2 toisessa kerroksessa sisältäen kaksi ikkunaseinää. Koeluokissa valaistus toteutettiin riipustetuilla suora/epäsuora loisteputkivalaisimilla, joita täydennettiin wall washer -tyyppisillä valaisimilla lisäämään seinien valaistusta. Kontrolliluokissa valaistus oli toteutettu pelkillä kattoon asennetuilla suoran valonjaon loisteputkivalaisimilla, joihin vaihdettiin samanlaiset 4000 K loisteputket, kuin koeluokkien valaisimissakin oli. Koeluokissa työtason horisontaalivalaistusvoimakkuus oli 500 lx ja kontrolliluokissa 300 lx. Kuvassa 17 näkyy luokkien eri pintojen valaistusvoimakkuudet taulukoituna. Kuvasta voidaan huomata koeluokkien valaistusvoimakkuuksien olleen yli kaksinkertaiset seinä- ja kattopinnoilla. (Goven ym. 2009.)

Illuminance levels	C1	E1	C2	E2 standard	E2 algorithmic
Average horizontal illuminance (working plane) (lx)	316	520	311	508	575
Average vertical illuminance - front wall (lx)	120	280	118	350	650
Average vertical illuminance - back wall (lx)	131	302	128	350	650
Average ceiling illuminance (lx)	98	321	84	297	347
Vertical illuminance, at eye level - centre of room (lx)	234	240	230	236	325

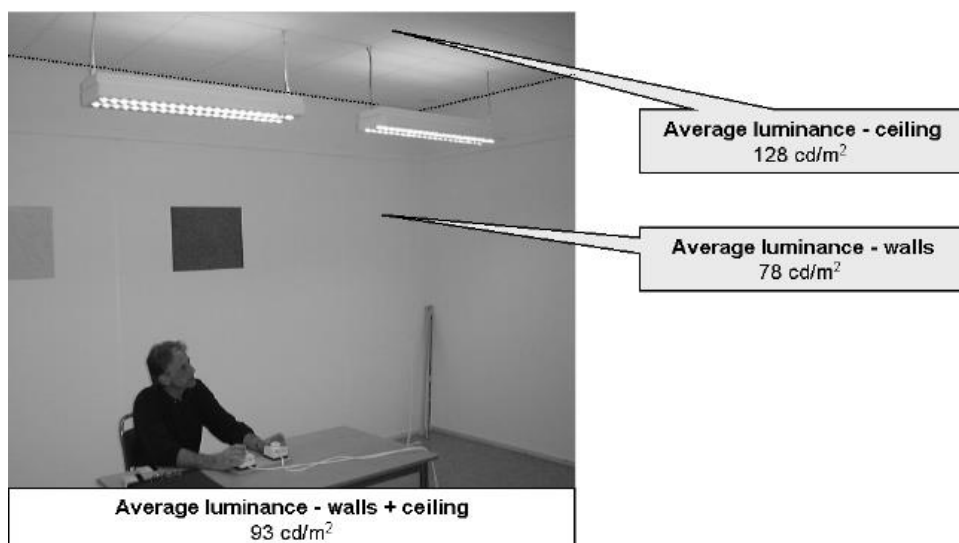
KUVA 17. Ympäröivät valaistusvoimakkuudet Govenin ja kumppaneiden tutkimuksen koeluokissa (Goven ym. 2009.)

Tuloksia oppilailta tutkittavista asioista kerättiin lokakuusta seuraavaan heinäkuuhun, oppilaiden kokonaismäärä oli 56 ja he olivat iältään 8-9-vuotiaita. Tutkimusraportissa on huomionarvoista, että tuloksia on esitelty lähinnä alakerran luokkien osalta, vaikka toinenkin kerros oli tutkimuksessa mukana. Alakerrassa päivänvalon osuus oli huomattavasti pienempi, joten on oletettavaa, että hyviä tuloksia oli selkeämmin nähtävissä näistä luokista. Alakerran koeluokassa E1 koulumenestys kasvoi erityisesti vuoden pimeänä aikana enemmän, kuin alakerran kontrolliluokassa C1. Myös melatoniinitasot olivat erityisesti pimeään vuoden aikaan koeluokassa E1 huomattavasti pienemmät, kuin kontrolliluokassa C1. Mielialat olivat koko tutkimuksen ajan korkeammat toisen kerroksen luokissa, joissa oli enemmän ikkunapinta-alaa. Ensimmäisessä kerroksessa koeluokan tulokset mielialan osalta osoittivat talvella tasaista kasvua, kun kontrolliluokan kohdalla ne vaihtelivat. Tiivistetysti paremman keinovalon positiiviset vaikutukset näyttävät olevan suurimmillaan luokissa, joissa päivänvaloa on vähän ja vuoden pimeinä aikoina. (Goven ym. 2009.)

#### 4.4.2 Valonjaon optimointi työalueilla

Toisessa tutkimuksessa Goven, Bångens ja Persson (2002) tutkivat suoraa ja epäsuoraa valonjakoa yrittäen löytää sopivan suhteen yleisvalaistukselle (Preferred luminance distribution in working areas). Tutkimuksessa koehenkilöt saivat itse säätää valonjaon suhdetta mieleisekseen erilaisiin näkötehtäviin, säilyttäen kuitenkin koko ajan 500 lx työta-son valaistusvoimakkuuden. 40 koehenkilön joukko koostui sekä valaistusalan ammattilaisista, että maallikoista. Valonjakoa mitattiin valaisimiin kiinnitetyillä sensoreilla, lisäksi pintojen valaistusvoimakkuudet mitattiin. Koehenkilöt suorittivat näkötehtäviä työpisteillä eri kohdissa huonetta ja istuen erilaisessa kulmassa valaisimiin nähden. Tuloksissa eri pisteistä laskettu keskiarvo sopivalle valonjaon suhteelle oli 44 % suoraa valoa

alas ja 56 % epäsuoraa valoa ylös. Seinille tuli näin ollen luminanssille arvoksi  $78 \text{ cd/m}^2$  ja katolle  $128 \text{ cd/m}^2$  (kuva 18). (Goven ym. 2002.)



KUVA 18. Govenin ja kumppaneiden valonjakoa koskevan tutkimuksen tulokset katto- ja seinäpinnoille (Goven ym. 2002).

#### 4.4.3 Valonjakoa koskevien tutkimuksien koonti

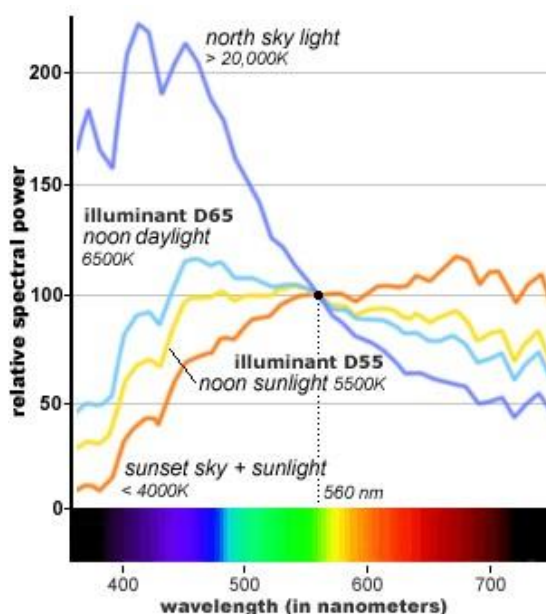
Edellä mainitut tulokset osoittavat ennen kaikkea ympäröivän valon määrän tärkeyden. Sekä ympäröivien pintojen suurempien valaistusvoimakkuuksien positiiviset vaikutukset, että jälkimmäisen tutkimuksen (luku 4.4.2) tulokset sopivasta valonjaon suhteesta ja pintojen valaistusvoimakkuuksista puoltavat ulkona olevaa luonnonvaloa mukailevaa valaistusta. Kuten luvussa 2.2 todettiin ovat verkkokalvon ipRGC-solut luoneet laajan valoa vastaanottavan verkoston verkkokalvon alueelle pois lukien fovea-piste. Näin ollen koe-  
luokan pienempi melatoniinitaso antaa näyttöä siitä, että näitä ipRGC-soluja pystytään aktivoimaan nimenomaan laajoilla valaisevilla pinnoilla, jolloin valoa saapuu tasaisesti joka suunnasta verkkokalvolle kuten ulkona. Myös päivänvalosuunnittelun hyödyt tulevat ilmi ensimmäisen tutkimuksen (luku 4.4.1) tuloksissa, joissa toisessa kerroksessa suuremman ikkunapinta-alan luokissa mielialat säilyivät koko tutkimuksen ajan parempina.

## 5 MUUTA TUTKIMUSTA KOSKIEN IHMISKESKEISTÄ VALAISTUSTA

Kuten johdannossakin on jo mainittu, ovat valon vaikutukset ihmisiin aiheuttaneet kasvavissa määrin mielenkiintoa ja esimerkiksi tekniikan kehittyminen tuottaa uusia näkökulmia, joista lähestyä aihetta. Tähän lukuun on koottu muuta tutkimusta ihmiskeskeisestä valaistuksesta. Kyseisistä tutkimuksista kuitenkin löytyy huomion arvoista sisältöä ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa sekä mahdollisesti joitain suuntaviivoja siitä, mihin suuntaan ihmiskeskeisen valaistuksen tutkimusta ollaan ehkä viemässä.

### 5.1 Värien psykologia ja valo

Aiemmin on todettu punaisen värisellä valolla olevan muun muassa valppautta parantavia vaikutuksia ihmiseen, vaikka iltaa kohden, jolloin nukkuminen lähenee, luonnonvalon spektri muuttuu punaisempaan kuten kuvasta 19 näkyy. Tietyillä valon sinisillä aallonpituuksilla on tutkittu olevan vaikutusta hormonituotantoon vähentäen uneliaisuutta, toisaalta vaikkapa teatterin valaistussuunnittelija, joka lähestyy valoa myös värinä, käyttäisi sinisen väristä valoa mahdollisesti luomaan rauhallista tai unenomaista tunnelmaa. Tässä on mielenkiintoinen ristiriita, jota ei voi ohittaa pohdittaessa valon vaikutuksia ihmiseen. Niinpä tässä luvussa käsitellään valoa nimenomaan lähes monokromaattisena eli yksivärisenä.



KUVA 19. Aamu- ja iltä-aurion spektri oranssilla (Iristech. n.d)

Värien psykologia tai värien vaikutukset tarjoavat hakusanoina valtavasti erilaista sisältöä todella erilaisista lähteistä. Värien merkityksiä on käsitelty muun muassa niin sisustukseen, terveyteen, markkinointiin kuin pelihahmon suunnitteluunkin liittyen. Yhteistä kaikille lähteille on kuitenkin se, että niissä punainen väri yhdistetään energisiin voimakkaisiin tunteisiin, kuten viha, ärtymys, vaara, intohimo, stressi tai rakkaus. Sininen puolestaan on usein yhdistetty rauhallisuuteen, luotettavuuteen ja luovuuteen. Al-Ayash, Kane, Smith ja Green-Armytage (2015) ovat yliopisto-opiskelijoille toteuttamassaan tutkimuksessa todenneet valaisimilla tuotetulla voimakkaan punaisella ja keltaisella värillä olleen sydämen sykettä nostava vaikutus ja riippumatta tarkasta sävystä, sinisellä oli rentouttava ja rauhoittava vaikutus. Myös Laine (2011) opinnäytetyössään ”Värien viestit - Värien tehokas käyttö informaation välityksessä”, on koonnut materiaalia, joka puoltaa punaisen aktivoivia ja sinisen rauhoittavia vaikutuksia. Kyseisessä opinnäytetyössä on muutenkin laajalti käsitelty värien psykologiaa huomioiden muun muassa kulttuurillisia eroja värien merkityksissä. (Rihlama 2000; Laine 2011; Al-Ayash ym.2015.)

Yhdisteltäessä aiemmin valon spektri -luvussa käsiteltyä tutkimustietoa sinisestä ja punaisesta valosta värien psykologian kanssa vahvistuu tieto siitä, ettei näkyvän valon koko spektrin vaikutuksia vielä tarkkaan tunneta. Näyttäisi, että valo voi vaikuttaa ihmiseen nimenomaan tiettyinä aallonpituutena osana valkoista valoa aktivoimalla esimerkiksi ipRGC-soluja, mutta myös monokromaattisena väriaistimuksen kautta, jolloin vaikutukset näyttäisivät olevan enemmän psykologisia kuin biologisia. Nämä eivät kuitenkaan pitäisi olla toisiaan poissulkevia asioita, sillä onhan väriltään sininen valo mahdollista tehdä siten, että se sisältää mahdollisimman vähän melatoniinin tuotantoa rajoittavia aallonpituuksia. Asian tiimoilta lienee siis syytä vielä odottaa jatkotutkimuksia, jotta näiden eri asioiden yhteyksistä saataisiin paremmin selvyys.

## 5.2 Näytölliset laitteet

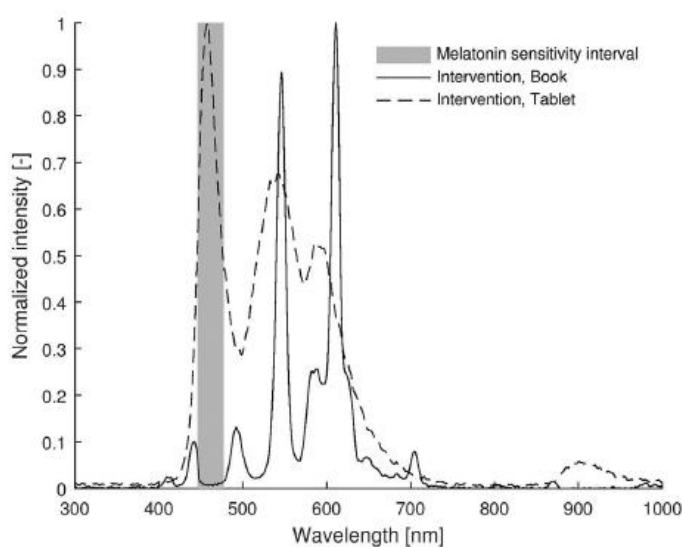
Viime vuosina on ollut paljon keskustelua erilaisten näytöllisten laitteiden iltakäytön vaikutuksista uneen, johtuen näyttöjen suuresta valon sinisten aallonpituuksien säteilyn määrästä. Lisäksi niiden käyttö opetustarkoituksessa on lisääntynyt, joten aiheen ajankohtaisuudesta johtuen tässä luvussa esitellään kaksi tutkimusta näytöllisiä laitteita koskien. Figueiro ja Overington (2015) ovat tutkineet näytöllisten laitteiden iltakäytön vaikutuksia

melatoniinin tuotantoon nuorilla. Tutkimuksessa 20 nuorta iältään 15-17 vuotta käyttivät vapaasti valitsemiaan näytöllisiä laitteita kahtena peräkkäisenä iltana kolmen tunnin ajan ennen normaalia nukkumaanmeno aikaansa. Ensimmäisenä iltana he pitivät koko kolmen tunnin ajan laseja, jotka suodattivat siniset alle 525 nm aallonpituudet pois, mutta toisena iltana he pitivät näitä laseja vain ensimmäisen tunnin ajan. Koehenkilöille oli sallittua, käyttää useampiakin laitteita, mikäli he käyttivät molempina iltoina täysin samoja laitteita. Lisäksi koehenkilöiden tuli käyttää Daysimeter-mittalaitetta, joka riippuu ketjusta kaulassa. Daysimeter-mittalaite on kalibroitu siten, että se pystyy muuttamaan siihen erilaisissa tilanteissa kohdistuneet valonsäteilyt vertailukelpoisiksi keskenään. Se antaa mitaustuloksensa CS- eli Circadian Stimulus -arvoina, jotka kertovat suoraan odotetun melatoniinin tuotantoa rajoittavan vaikutuksen määrän. Esimerkiksi CS-arvo 0,05 tarkoittaa odotettua 5 % rajoittavaa vaikutusta. (Figueiro & Overington. 2015.)

Valon vaikutuksia arvioitiin tutkimuksessa sylkinäytteiden ja Daysimeter-mittausten perusteella, koehenkilöt olivat ohjeistettuja ottamaan sylkinäytteet tunnin välein. Tuloksissa on huomioitu vain 18 henkilön näytteet, sillä kaksi koehenkilöistä ei tuottanut tarpeeksi sylkeä viimeiseen näytteeseen. Tulokset osoittavat, että keskimääräinen melatoniinin tuotannon rajoitus oli kahden tunnin kohdalla noin 23 % ja kolmen tunnin kohdalla noin 38 %. Tässä tutkimuksessa tulee huomioida, ettei siinä vaadittu jokaista koehenkilöä käyttämään yhtä tiettyä samaa laitetta, näin ollen tuloksien voidaan ajatella olevan melko hyvin yleispäteviä keskiarvoja. Lisäksi on huomionarvoista, että tässä tutkimuksessa vaikutukset näyttivät olevat suuremmat, kuin Daysimeter-mittaukset antoivat odottaa. Esimerkiksi ensimmäisen tunnin kohdalla CS-arvo oli keskimäärin 0,04, mutta keskimääräinen melatoniinin rajoitus oli 23 %. Aiemmissa tutkimuksissa hieman vanhempien parissa ei ollut havaittu tällaisia eroja, tosin tässä tutkimuksessa Daysimeter-mittari oli kaulaketjussa roikkuva malli, kun aiemmissa tutkimuksissa se on sijainnut silmän korkeudella. Kuitenkin tämä saattaa tutkijoiden mukaan viitata nuorten ihmisten mahdollisesti suurempaan herkkyyteen tutkituille vaikutuksille. (Figueiro & Overington. 2015.)

Toisessa tutkimuksessa Rångtall, Ekstrand, Rapp, Lagermalm, Liethof, Bucaro, Lingfors, Broman, Schiöth ja Benedict (2016) ovat tutkineet aiheita vertaillen tabletin ja fyysisen kirjan lukemisen mahdollisia eroja vaikutuksissa uneen pitkän kirkkaassa valossa oleskelun jälkeen. Neljätoista tutkimukseen osallistunutta nuorta aikuista nukkuivat ennen jokaista koesessiota kolmena yönä saman ohjeistetun aikataulun mukaisesti, jotta heidän

unensa kesto ja laatu pystyttiin arvioimaan ennen jokaista koetta. Ensimmäisessä koetilanteessa osallistujat lukivat samaa kirjaa kahden tunnin ajan ennen nukkumaanmenoa joko tabletilta (spektri kuvassa 20) tai fyysisenä kirjana. Toisessa koetilanteessa he jatkoivat siitä mihin olivat jääneet, nyt kuitenkin vaihtaen tabletin kirjaan tai päinvastoin, jälleen kahden tunnin ajan. Ennen lukemista koehenkilöt oleilivat koehuoneessa 6,5 tuntia, minkä aikana valaistustaso oli 569 lx pöytätasolla. Illalla kello 21, kun lukeminen alkoi, katon valaisimet sammutettiin ja lukuvalona toimi ainoastaan pöydällä oleva valaisin. Lukijan oikean silmän kohdalta mitattuna valaistustasot olivat lukemishetkenä  $67,3 \pm 49,9$  lx fyysisen kirjan kanssa ja  $102,1 \pm 41,4$  lx tabletin kanssa. Värilämpötilat kyseisissä tilanteissa olivat 2674 K fyysisen kirjan kanssa ja 7718 K tabletin kanssa. (Rångtelli ym. 2016.)



Kuva 20. Tutkimuksessa käytetyn tabletin näytön spektri katkoviivalla (Rångtelli ym. 2016.)

Tutkimukseen osallistujilta kerättiin sylkinäytteet 30 minuutin välein lukemisvaiheen aikana melatoniinin tuotannon arvioimiseksi ja unen aikana heidän aivosähkö- eli EEG-käyrää tarkkailtiin. Lisäksi koehenkilöt arvioivat itseään välittömästi lukemisen päätyttyä ja seuraavana aamuna. Tuloksissa ei kuitenkaan havaittu eroa tabletin tai fyysisen kirjan lukemisen välillä. Tutkijat uskovat, että kuten aiemmatkin tutkimukset osoittavat, päivällä saatu pidempiaikainen altistuminen kirkkaalle valolle saattaa vähentää näytöstä säteilevän sinisen valon vaikutuksia. Lisäksi he huomauttavat, että lukemista on yleisesti pidetty kognitiivisesti vaativana tehtävänä, jolloin iltalukeminen saattaa edesauttaa unen tarpeen lisääntymistä. (Rångtelli ym. 2016.)



### 5.3 Näytöllisiä laitteita koskevien tutkimuksien koonti

Jos valon biologisten vaikutuksien tutkiminen on vielä melko nuori tieteenala, on näytöllisten laitteiden vaikutukset vielä sitäkin tuoreempi asia. Eli tutkimuksia asiaa koskien ei vielä kovin paljon ole toteutettu ja lisätarvetta tarkemmille tutkimuksille on. Ensimmäinen tutkimus osoittaa, että näytöllisillä laitteilla olisi melatoniinin tuotantoa rajoittava vaikutus. Tätä voi pitää melko luotettavana yleisenä tuloksena oikeasta elämästä, sillä koehenkilöiden käyttäytymistä muuten päivän aikana ja näin ollen esimerkiksi valohistoriaa ei kontrolloitu. Tutkijat myös huomauttavat, että laitteiden käytöllä voi olla aivoja stimuloiva vaikutus ilman melatoniinin tuotantoon vaikuttamistakin ja sitä ei tässä tutkittu. Toisaalta jälkimmäinen tutkimus osoittaa, että päivän aikana saadulla riittävällä valon määrällä voisi olla näytöllisten laitteiden haittoja vähentävää vaikutusta. Tätä puoltaa myös aiempien tutkimusten havainnot valohistoriaan liittyen. Tämä tieto on kouluympäristöissäkin erittäin olennainen päivittäisiä valaistustasoja sekä välituntien aikatauluttamista suunniteltaessa. Tässäkin yhteydessä on jälleen mainittava päivittäisen ulkoilemisen ja luonnonvalon saamisen tärkeys, sillä kuten jo aiemmin todettu, mikään keinovalo ei vedä vertoja luonnonvalolle ja näin ollen se on myös tehokkain tapa varmistaa riittävä valon saanti mahdollisten näytöllisten laitteiden haittojen vähentämiseksi.

### 5.4 Ledien haitat

”First do no harm” on lääketieteen parissa tuttu sanonta, joka on hyvä pitää mielessä eettisenä ohjeena myös tekniikan parissa työskennellessä, varsinkin nyt kun uusia innovaatioita ja edistystä tapahtuu kiihtyvällä vauhdilla. Ledit ovatkin herättäneet keskustelua paljon esimerkiksi välkynnän (flickering) ja sinisen valon haittojen (blue light hazard) osalta. Molemmilla on haittavaikutuksia ihmiseen samoin kuin sirkadiaanirytmien häiriintymisellä. Scientific Committee of Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) julkaisema raportti ”Potential risks to human health of Light Emitting Diodes” (2017) käsittelee ledien haittoja hyvin laajasti. (Ion, Proykova & Samaras 2017)

Tiivistetysti raportissa kuitenkin todetaan ei-teollisissa ympäristöissä välkynnän aiheuttaman stroboskooppefektin todennäköisyyden olevan erittäin pieni. On olemassa väitteitä, että jotkut ihmiset kärsivät noin 100 Hz taajuudella tapahtuvasta välkynnästä muun

muassa migreenin muodossa. Jotkin nykyisistä valaisimista voivat himmennyksestä tai huonolaatuisesta tekniikasta johtuen välkkyä tällä taajuudella. Sinisen valon haittojen osalta todetaan näytöllisten laitteiden ja asuinympäristöjen valaistusolosuhteiden sinisen valon säteilyn määrän olevan selvästi alle International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP) antamien rajojen vielä pitkäaikaisen käytönkin jälkeen. Sinisen valon haitoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi sinisen valon aiheuttamia solumuutoksia silmässä, joita voi aiheuttaa esimerkiksi auringon katsominen paljaalla silmällä. Ei siis vaikutuksia sirkadianirytmiin. Sirkadianirytmin häiriintyminen taas on yhdistetty negatiivisiin terveysvaikutuksiin lähinnä rajuissa häiriintymistilanteissa, kuten aikaerorasitus tai vuorotyö. Raportissa kuitenkin todetaan todellisessa elämässä suoritetulle lisätutkimukselle olevan tarvetta. (Ion ym. 2017)

## 6 ALHONIITYN KOULUN ERITYISLUOKAN VALAISTUS

Tässä luvussa käsitellään aiemmin esiteltyjen tutkimusten pohjalta suunniteltua ja toteutettua valaistussaneerausta. Kohteena oli Alhoniityn koulun yksi erityisluokka Nokialla, johon Purso Oy toimitti tarvittavan tekniikan valaistuksen ja sen ohjauksen toteuttamiseksi. Kohteessa on pyritty huomioimaan aiemmin käsiteltyjä asioita valonjaosta, ympäröivästä valosta sekä dynaamisesta valaistuksen ohjauksesta. Lukuun kuuluu myös taulukko, johon on koottu erilaisia tapoja arvioida toteutetun valaistussaneerauksen mahdollisia vaikutuksia. Luokan valaistussaneerauksen suunnittelun ja toteutuksen pohjaksi tehty tutkimussuunnitelma on esitetty liitteessä 1.

### 6.1 Alhoniityn koulun vanha valaistus

Luokan vanha valaistus oli toteutettu perinteisillä 3000 K loisteputkivalaisimilla, joiden valonjako oli ainoastaan alaspäin. Vinokatosta johtuen luokan yläosa jäi erittäin pimeäksi ja vähensi luokan tilan tuntua sekä epäsuoran valon määrää. Kuvista 21 ja 22 on nähtävissä, että esimerkiksi oikealla näkyvä vihreä seinä oli melko varjoisa. Kyseisessä luokassa käytetään opetuksen apuna paljon seinillä olevia erilaista informaatiota sisältäviä lappuja, näin ollen vertikaalinen valaistusvoimakkuus seinillä ja koko luokassa visuaalisen viestinnän takia on tärkeä osa parempaa valaistusta. Vanhassa valaistuksessa valaistusvoimakkuudet työalueen tasoilla olivat kyllä suuria, noin 700 luksia, mutta valaistus oli näkemisen kannalta raskas johtuen suurista luminanssieroista hämärien seinäpintojen takia.



KUVA 21. Alhoniityn koulun erityisluokan vanha valaistus (Kuva. Arto Heiskanen.)



KUVA 22. Alhoniityn koulun erityisluokan vanhat pintaluminanssit. Musta on pieni luminanssi ja valkoinen suuri (Kuva. Arto Heiskanen.)

## 6.2 Alhoniityn koulun uusi valaistus ja ohjaus

Uudessa ratkaisussa luokkaan asennettiin 6 kpl Purson Linear SR 8000 lumenin säädettävän värilämpötilan valaisinta alavaloiniksi ja 6 kpl Linear S 4130 lumenin säädettävän värilämpötilan valaisinta ylävaloiniksi. Valaistuksen uudistamisen myötä valaistusvoimakkuudet kaikilla pinnoilla saatiin nousemaan lisäten näin ympäröivän valon määrää, helpottaen visuaalista viestintää ja parantaen tilan tuntua. Lisäksi työtasoilla on mahdollista päästä yli 1000 luksin valaistusvoimakkuuteen, mikäli niin halutaan. Luokkaan asennetuissa valaisimissa värilämpötilan säätö on toteutettu RGB-tekniikalla, toisin kuin perinteisissä Tunable White -ratkaisuissa, joissa säätö on toteutettu muokkaamalla kahden eri värilämpötilan ledien sekoitussuhdetta. Kyseiset valaisimet poikkeavat perinteisestä RGB-tekniikasta vielä siltä osin, että vihreä led on korvattu mintun värisellä. Luokkaan asennetun valaistuksen värintoisto pysyykin kyseisen tekniikan ansiosta erittäin hyvänä ( $< 95$ ) kaikissa ohjauksen luokkaan säätämässä värilämpötiloissa, jotka noudattelevat Planckin vakioikäyrää.

Luokan valaistuksen ohjaus toimii langattomalla tekniikalla, mikä oli käytännöllisin toteutustapa, kun pelkkä valaistus uudistettiin. Ensimmäisessä vaiheessa ohjaus toimii siten, että perusasetuksellaan se säätää luokan valaistuksen värilämpötilaa automaattisesti vastaamaan luonnonvaloa perustuen luokan GPS-koordinaatteihin. Tämän lisäksi ohjelmoitiin opettajalle käytettäväksi kaksi painonapeilla valittavaa esiaseteltua valaistustilannetta. Ensimmäisessä esiasetellussa tilanteessa värilämpötila on 7000 K, jota voidaan käyttää piristävää vaikutusta haluttaessa esimerkiksi lounaan jälkeen tai koetilanteessa. Toisessa esiasetellussa tilanteessa värilämpötila on 3000 K, jota voi käsivalintaisesti himmentää sopivaksi. Tämä tilanne on hyvä valinta, mikäli valaistukselta halutaan rauhoittavaa vaikutusta. Tekniikka mahdollistaa myös valaistuksen säätämisen eri väreihin, näin ollen voidaan tarvittaessa luoda erilaisia tunnelmavalaisuksia. Uudistettu valaistus on nähtävissä kuvista 23 ja 24.



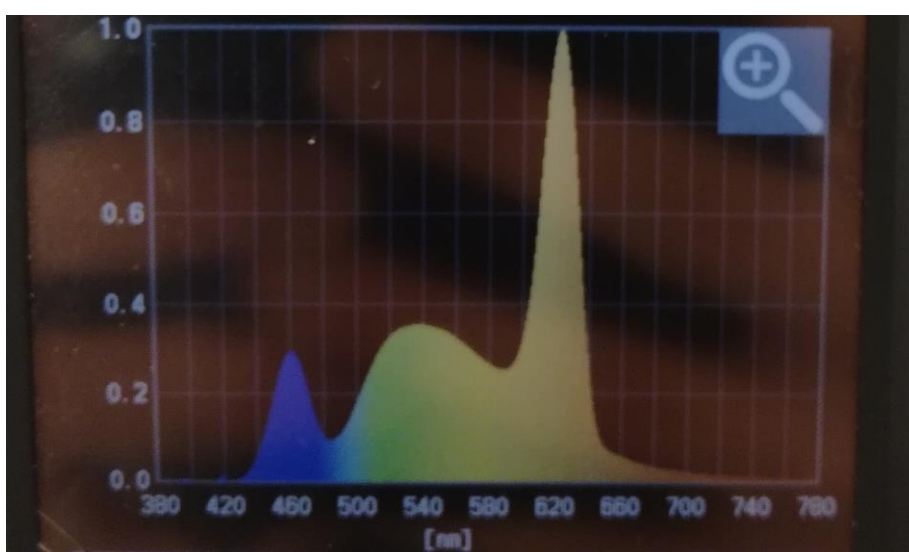
KUVA 23. Alhoniityn koulun erityisluokan uusi valaistus 7000 K



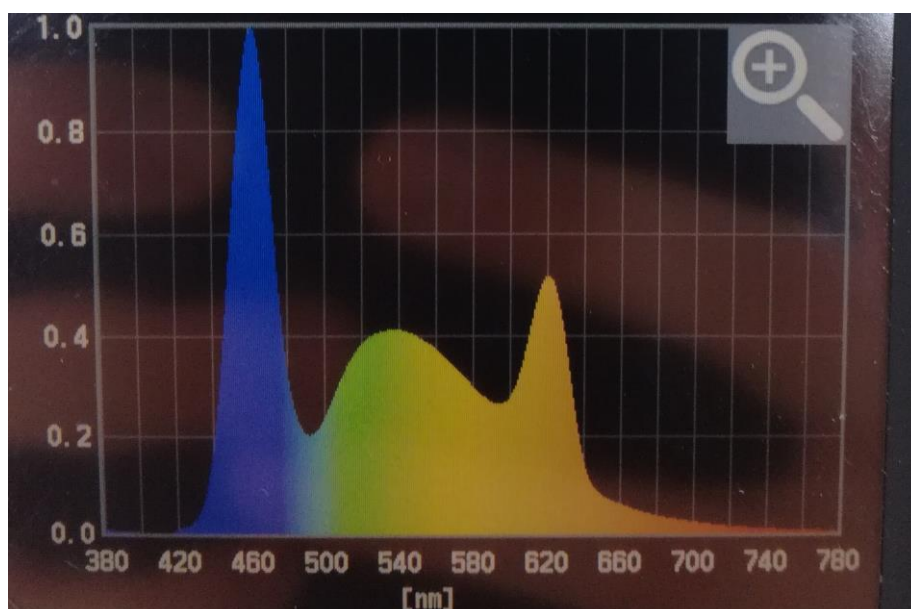


KUVA 24. Alhoniityn koulun erityisluokan uuden valaistuksen pintaluminanssit, kun työtasoilla 1000 lx. (Kuva. Arto Heiskanen.)

Luokan valaisinten RGB-toteutus mahdollistaa myös valaisimien spektrin optimoimisen. Tätä onkin hyödynnetty luokassa siten, että esiasetellussa rentouttavassa 3000 K valaistustilanteessa on valon sinisten aallonpituuksien voimakkuus pyritty pitämään pienenä, kun taas 7000 K esiasetellussa tilanteessa sinisillä aallonpituuksilla on selvä piikki. Nämä esiaseteltujen tilanteiden spektrien erot ovat nähtävillä kuvista 25 ja 26.



KUVA 25. Kuva spektrometrin näytöstä 3000 K tilanteessa.



KUVA 26. Kuva spektrometrin näytöstä 7000 K tilanteessa.

### 6.3 Ihmiskeskeisen valaistuksen vaikutusten arvioiminen

Ihmiskeskeisten valaistusratkaisujen vaikutusten arviointi on hyvin olennaista, mikäli halutaan näyttää niiden hyödyt asiakkaille tai yrityksen oman kehitystyön tueksi. Taulukossa 1 on esitetty erilaisia tapoja valon vaikutusten arvioimiseen, jotka on koottu äsken esiteltyä Alhoniityn koulun erityisluokan tutkimussuunnitelmaa varten. Eriteltyt tavat on koottu tässä opinnäytetyössä esitellyistä tutkimuksista sekä osittain niitä soveltaen. Kuten johdannossakin on mainittu, pois on rajattu sellaiset keinot, jotka vaativat erityistä lääketieteellistä osaamista ja välineistöä. Seuraavien tapojen pitäisikin olla melko helposti sovellettavissa niin alan yritysten, kuin vaikkapa ihmiskeskeiseen valaistukseen investoineen asiakkaan toimesta.

<b>Lukunopeus ja virheiden määrä</b>	Lukunopeuden ja -sujuvuuden arviointi on helppo toteuttaa siihen tarkoitetuilla erilaisilla testeillä.
<b>Keskittymiskyky</b>	Keskittymiskyvyn testaaminen on toteutettavissa testeillä, joissa esimerkiksi pitää etsiä poikkeavuuksia suuremmasta joukosta esim. d2-R testi.
<b>Kognitiiviset testit</b>	Esimerkiksi muisti, ongelmanratkaisukyky ja havainnointikyky voivat olla mitattavia asioita. Esimerkiksi luetun tai kuullun tekstin muistaminen, kuviin liittyvät muistitestit tai matemaattiset ongelmanratkaisutestit.
<b>Koulumenestys</b>	Koulumenestyksen kehitystä voi verrata aiempien vuosien oppilaisiin samassa opintojen vaiheessa tai saman ikäiseen verrokkiryhmään esimerkiksi toisesta koulusta. Vertailua voisi tehdä myös oppilaiden odotettuun opinnoissa edistymiseen.
<b>Sairauspoissaolot</b>	Henkilökunnan ja oppilaiden sairauspoissaolot esimerkiksi päivää / kuukausi.
<b>Opettajien arviot itsestään ja oppilaista</b>	Mielialan, keskittymiskyvyn tai vireyden arviointi. Esimerkiksi KSS-asteikolla.
<b>Vanhempien ja oppilaiden itsensä arviot</b>	Vanhemmilta arvio koskien lapsen mielialaa tai vuorokausirytmien pysymistä yllä. Myös oppilaita voi pyytää arvioimaan omaa mielialaansa, vireytään, keskittymiskykyään ja unenlaatuun tai väsymystään helposti ymmärrettävällä asteikolla, josta pitää valita omaa vireyttä vastaava vaihtoehto. Asteikko voisi koostua esimerkiksi hymynaamoista.

TAULUKKO 1. Ihmiskeskeisen valaistuksen vaikutusten arviointitapoja

## 6.4 Projektin arviointi ja jatkotoimenpiteet

Luokan uusi valaistusratkaisu onnistui täyttämään tavoitteet suurelta osin. Epäsuoran valon sekä pintojen valaistuksen määrät saatiin nousemaan. Ohjaus noudattelee perusasetuksellaan luonnonvalon rytmiä, kuten tutkimussuunnitelmassa oli asetettu ensimmäisessä vaiheessa tavoitteeksi. Ohjausta tulisi kuitenkin kehittää siten, että myös valaistusvoimakkuus muuttuisi värilämpötilan lisäksi luonnonvalon vaihteluita jäljitellen. Kuten Kruithofin käyrä osoittaa, voivat valaistusolosuhteet olla hieman epämukavat, mikäli va-



laistusvoimakkuus pysyy muuttumattomana värilämpötilan vaihtuessa. Käyttäjien opastus uuden valaistuksen käyttämisestä onnistui hyvin ja luokassa onkin ensimmäisten palautteiden perusteella kokeiltu eri tilanteissa erilaisia valaistuksia.

Jatkossa on tärkeää kerätä palautetta luokan käyttäjiltä valaistuksesta ja pyrkiä reagoimaan siihen, mikäli negatiivista palautetta tulee. Uusi valaistus saatiin asennettua luokkaan maaliskuussa eli uuden valaistuksen vaikutukset pitäisivät tulla selvimmin näkyviin ensi syksyn ja talven aikana. Tämä mahdollistaa seuraavien kuukausien aikana toimintamallien suunnittelun valaistuksen vaikutuksien seuraamiseksi ensi syksystä alkaen. Taulukossa 1 ehdotetut tavat vaikutusten arvioimiseksi ovat suoraan sovellettavissa tähänkin projektiin sen toteuttajien haluamassa laajuudessa. Vaikutuksia seuraamalla on mahdollista kerätä arvokasta tietoa tekniikan kehittämiseksi sekä markkinoinnin tueksi, jotta ihmiskeskeisille valaistusratkaisuille saataisiin lisää näkyvyyttä.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyöprojektin aikana tehtiin tutkimussuunnitelma Purso Oy:lle Alhoniityn koulun erityisluokan valaistussaneerauksen pohjatiedoksi. Kyseistä tutkimussuunnitelmaa varten on kerätty yhteen tutkimustietoa, joka on esitelty tässä opinnäytetyössä. Tavoitteena oli tutkimussuunnitelman pohjalta pystyä suunnittelemaan ja toteuttamaan luokan uusi valaistus ihmiskeskeisen valaistuksen periaatteita noudatellen, sekä tarjota työkaluja vaikutusten arvioimiseksi. Opinnäytetyön tarkoituksena oli olla riittävän laaja yhteenveto ihmiskeskeisestä valaistuksesta, jotta opinnäytetyön lukemalla voisi ymmärtää kerättyjen tutkimusten merkityksen valaistussuunnittelussa sekä lisätä tietämystään ihmiskeskeisestä valaistuksesta.

### 7.1 Opinnäytetyöprojektin arviointi

Tavoitteet täyttyivät, sillä tutkimustietoa on saatavilla nykyisin jo melko paljon. Teoriaosuudessa on hyvin kerättyä perusteita valon biologisten vaikutusten taustalta. Lisäksi on onnistuttu käsittelemään ihmiskeskeistä valaistusta kokonaisuutena laajemminkin WELL-sertifikaatin vaatimuksia sekä valonlähteiden ei-visuaalista arviointia käsittelemällä. Valon vaikutusten tutkimuksia on toteutettu hyvin eri näkökulmista, mikä on nähtävillä tähänkin työhön kootuista tutkimuksista. Ne on pystytty jakamaan valon eri ominaisuuksien mukaan ja tämän lisäksi tutkimuksia on toteutettu erityisesti kouluympäristöjä koskien. Huomionarvoista on, että tässä opinnäytetyössä esitellyt tutkimustulokset ovat luonnollisesti sovellettavissa myös muissa kuin kouluympäristöissä. Tutkimuksista vain osa oli toteutettu erityisesti kouluympäristöjä ja oppilaisiin saavutettavia vaikutuksia silmällä pitäen. Toisaalta esimerkiksi lounaanjälkeistä väsymystä ilmenee varmasti muuallakin kuin luentosaleissa, joten jokaisesta tutkimuksesta löytyy varmasti sovellettavaa myös muihin ympäristöihin. Tähän työhön kootut tutkimukset olivat riittäviä, jotta tutkimussuunnitelmalle asetetut tavoitteet täyttyivät. Alhoniityn koulun erityisluokan valaistus pystyttiin suunnittelemaan ja toteuttamaan näiden tutkimustietojen perusteella, vaikka toteutuksessa onkin vielä kehitettävää ohjauksen osalta. Tosin nämäkin kehityskohdat tulevat ilmi juurikin tässä työssä käsitellyistä asioista. Lisäksi vaikutusten arvioimiseen on onnistuttu keräämään työkaluja, joita soveltaa Alhoniityn koulussa tai muissa ympäristöissä.

## 7.2 Pohdintaa ihmiskeskeisestä valaistuksesta sekä jatkotutkimus

Kenties isoimpana asiana tätä opinnäytetyötä tehdessä jäi mieleen avoimien kysymysten määrä ja tutkimuspotentiaali, joka ihmiskeskeisessä valaistuksessa on. Ensinnäkin aihepiirin ollessa rajapinta tekniikan, biologian ja lääketieteen välimaastossa on sen todellisille asiantuntijoille varmasti kysyntää ja sen tarkempi kartoittaminen vaatii monialaista yhteistyötä ja osaamista. Seuraavaksi on käsitelty tätä työtä kirjoittaessa esiin tulleita ajatuksia ja ehdotuksia jatkotutkimuksia sekä mahdollisia tulevia opinnäytetöitä koskien ja yleistä pohdintaa aihepiiristä.

## 7.3 WELL-sertifikaatin tuominen osaksi uutta rakennuskulttuuria

Yksi kiinnostavimmista asioista on WELL-sertifikaatin merkitys ihmiskeskeisen valaistuksen levikin lisäämisessä. Tällä hetkellä Euroopassa ollaan menossa kovaa vauhtia kohti nZEB- eli lähes nollaenergiarakentamista. Tarvetta on tutkimukselle siitä, miten käyttäjien terveys ja hyvinvointi voidaan tuoda mukaan uuteen rakentamiskulttuuriin. Esimerkiksi WELL-sertifikaatin vaatimat korkeat painotetut valaistusvoimakkuudet (EML) luonnollisesti lisäävät valaistuksen energiankulutusta perinteisesti toteutettuna. Mutta mikäli toteutus tehdään tarkoin harkitun spektrin omaavilla valaisimilla ja varustetaan esimerkiksi päivänvaloantureilla, pystyttäisiin sen energiankulutus kenties pitämään nZEB-määräysten vaatimalla tasolla. Myös ledien hyötysuhteissa on saavutettu laboratorio-olosuhteissa huomattavasti suurempia lukuja, kuin mihin kaupalliset ledit tällä hetkellä pystyvät. Olisi hyvä tehdä jonkinlaista koontia ja ratkaisuehdotuksia siitä, miten saataisiin yhdistettyä sekä BREEAM:n, että LEED:n kaltaisten energiatehokkuutta käsittelevien ympäristöluokitusten ja WELL:n tarjoamien käyttäjien hyvinvoinnin hyödyt tulevaisuuden rakentamisessa. Voisiko esimerkiksi täyttää sekä WELL-sertifikaatin, että esimerkiksi BREEAM:n vaatimukset samalla teknisellä ratkaisulla?

## 7.4 Muita ihmiskeskeisen valaistuksen sovellusympäristöjä

Kuten on jo käynyt ilmi, tämän työn sisällön ollessa painottunut lähinnä opetusympäristöihin, on ihmiskeskeistä valaistusta koskien luonnollisesti lukuisia muitakin sovellutus-

ympäristöjä, joita käsittelevää vastaavaa suomenkielistä tiivistelmää voisi tehdä. Esimerkiksi Lighting for people (2014) julkaisemassa raportissa ”Lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications and smart cities” on nimensä mukaisesti jaoteltu ihmiskeskeistä valaistusta osa-alueittain koulu-, työ-, hoito-, koti- ja kaupunkiympäristöihin. Suomessakin on jo sairaalaympäristöissä toteutettu ihmiskeskeisiä valaistusratkaisuja, mutta kattavaa koontia koskien näitä eri sovellusympäristöjä ei suomeksi ole tarjolla. (Schlangen, Lang, Novotny, Plischke, Smolders, Beersma, Wulff, Foster, Cajochen, Nikunen, Tähkämö, Bhusal & Halonen. 2014.)

## **7.5 Valaisinten ja valonlähteiden vertailu sekä siihen sopiva mittayksikkö**

Pelkästään tekniikan näkökulmasta voisi olla potentiaalia tehdä tutkimusta sekä vertailua eri valaisinten ja valonlähteiden välillä ottaen huomioon luvussa 3.2 mainitun valonlähteiden päivänvaloa vastaavan painotetun valaistusvoimakkuuden (MDEI). Varsinkin mikäli halutaan huomioida tilojen energiankulutusta, mutta säilyttää myös ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt, tulisi valaisimet valita nimenomaan tällaista mittayksikköä käyttäen. Muistettava on myös luvussa 3.3 mainittu herännyt keskustelu siitä, pitäisikö valon melatoniinineritysvaikutusta kuvaavaa Melanopic weighting -painotuskäyrää muokata laajemmaksi. Mittayksikkö on varmasti yksi asia, joka tulee vielä muuttumaan tulevaisuudessa paljon. Olisi tärkeää löytää ja lyödä lukkoon yhteinen mittayksikkö tai mittayksiköt, jotka mahdollistaisivat yhdenmukaisen vertailun eri valonlähteiden ja valaisinten välillä.

## **7.6 Koko valon spektrin vaikutusten tutkiminen**

Valon spektriin liittyvä tutkimus on kenties kaikessa aiheeseen liittyvässä tutkimuksessa se keskeisin osa-alue. Siitä on lähtenyt koko ihmiskeskeisen valaistuksen kehittyminen, valon sinisten aallonpituuksien vaikutuksen havaitsemisesta. Mutta kuten aiemmin jo on todettu, ovat koko spektrin vaikutukset ja näiden vaikutusten reitit ihmisen kehossa vielä pimennossa, ja varsinkin biologian ja lääketieteen puolella tällä saralla on vielä valtavasti tutkimuspotentiaalia. Mielenkiintoista olisi nähdä tutkimusta, jossa olisi yhdistetty valon biologiset ja psykologiset vaikutukset. Valon jonkin tietyn värin aallonpituuksien sekä saman värisen valon aiheuttaman väriaistimuksen vaikutusten välisiä mahdollisia eroja

tai yhteneväsyyksiä koskevaa tutkimusta ei ainakaan tämän opinnäytetyöprojektin yhteydessä tullut ilmi. Tämä on kuitenkin asia, joka näkyy valaistusalan sisälläkin tietynlaisena ristiriitana jo aiemmin mainitun valon sinisten aallonpituuksien ja väriltään sinisen valon eriävissä käyttötarkoituksissa.

## **7.7 Sirkadiaanirytmien vaiheen arvioiminen ulkoisesti**

Mielenkiintoista tutkimusta on toteutettu myös siitä, millä tavoin sirkadiaanirytmien vaihetta voitaisiin arvioida jo tunnettujen tapojen lisäksi. Bonmati-Carrion, Hild, Isherwood, Sweeney, Revell, Skene, Rol ja Madrid (2016) ovat tutkineet pupillireaktion ja sirkadiaanirytmien vaiheen välistä suhdetta. Heidän tutkimuksensa antaa viitteitä siitä, että pupillireaktion avulla voitaisiin arvioida sirkadiaanirytmien vaihetta ulkoisesti ilman esimerkiksi hormonien tasojen mittaamista. Luvussa 4.5.1 olevassa tutkimuksessa jo oli havaittu korkean värilämpötilan johtavan pienempään pupillin kokoon ja näin ollen parantavan lähialueen tarkkaavaisuutta verrattuna matalamman värilämpötilan valaistukseen. Nämäkin tutkimukset osoittavat valon lukuisia erilaisia vaikutuksia ihmiseen, joista kaikki eivät varmasti ole vielä tiedossa. (Bonmati-Carrion ym. 2016)

## **7.8 Ledien haitat**

Ledien haittoja koskien tutkimuspotentiaalia on nimenomaan tutkimuksille, jotka on toteutettu todellisessa elämässä laboratorio-olosuhteiden sijaan. Tutkimukset, jotka on toteutettu laboratorio-olosuhteissa ovat yleensä hyvin lyhyitä kestoaltaan. Ihmiset kuitenkin altistuvat valolle jatkuvasti normaalissa päivittäisessä elämässään, joten olisikin syytä toteuttaa tutkimuksia, joissa seurataan säilyvätkö esimerkiksi valon vaikutukset sirkadiaanirytmien samantlaisina pitkäaikaisessa altistumisessa tietyille valaistusolosuhteille. Tutkittavia asioita voisivat olla myös valaistushistorian tai henkilön iän merkitys todellisessa elämässä. (Ion ym. 2017)

## 7.9 Lopputiivistys

Kokonaisuutena tutkimuskenttä ihmiskeskeisestä valaistuksesta näyttää jo melko kattavalta, varsinkin valon eri ominaisuuksia koskien. Tulevaisuudessa olisi hyvä toteuttaa enemmän tutkimuksia ja seuranta pidempiaikaisesti todellisista toteutetuista projekteista. Ihmiskeskeinen valaistus on aiheena niin uusi, että tällä hetkellä on vielä vaikea osoittaa, millaisia hyötyjä oikeasti on pitkällä aikavälillä saavutettavissa. Hyötyjen seuraaminen ja niiden esittäminen konkreettisesti asiakkaille sekä eri medioiden välityksellä lisääisi myös ihmiskeskeisen valaistuksen näkyvyyttä ja tätä kautta lisääisi varmasti tietoisuutta myös tavallisten kuluttajien parissa. Tämän myötä asiakkaat osaisivat myös vaatia valaistukseltaan näitä ominaisuuksia.

## LÄHTEET

Aho, S., Haipus, P. & Väre, I. 2012. Syljen alfa-amylaasientsyymin mittaus pitkäaikaisstressin diagnosoinnissa.

Al-Ayash, A., Kane, R., Smith, D. & Green-Armytage, P. 2015. The Influence of Color on Student Emotion, Heart Rate, and Performance in Learning Environments

AP Psychology. n.d. The Retina. Luettu 27.2.2018. <http://www.rhsmpsychology.com/Handouts/retina.htm>

Ashdown, I. 2015. The Cruithof Curve: A Pleasing solution.

Berman, S., Navvab, M., Martin, M., Sheedy, J. & Tithof, W. 2005. A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children.

Berson, D., Dunn, F. & Takao M. 2002. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock.

Bonmati-Carrion, M., Hild, K., Isherwood, C., Sweeney, S., Revell, V., Skene, D., Rol, M. ja Madrid, J. 2016. Relationship between Human Pupillary Light Reflex and Circadian System Status.

Czeisler, A. & Buxton O. 2017. The Human Circadian Timing System and Sleep–Wake Regulation. Luettu 6.2.2018. <https://neupsykey.com/the-human-circadian-timing-system-and-sleep-wake-regulation/>

Di Laura, D., Houser K., Mistrick R. & Steffy G. 2011. The Lighting Handbook. Reference and Application. New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America 2011.

Englund, A & Partonen, P. 2009. Valon vaikutus terveyteen. Luettu 6.2.2018. <http://duodecimlehti.fi/lehti/2009/6/duo97925>

Figueiro, M. & Overington, D. 2015. Self-luminous devices and melatonin suppression in adolescents.

Figueiro, M. & Rea, M. 2010. The Effects of Red and Blue Lights on Circadian Variations in Cortisol, Alpha Amylase and Melatonin.

Figueiro, M. & Rea, M., 2017. Quantifying Circadian Light and Its Impact. Luettu 27.2.2018. [http://www.archlighting.com/technology/quantifying-circadian-light-and-its-impact\\_o](http://www.archlighting.com/technology/quantifying-circadian-light-and-its-impact_o)

Figueiro, M., Sahin, L., Wood, B. & Plitnick, B. 2016. Light at night and measures of alertness and Performance: Implications for Shift-Workers.

Giménez, M., Schlangen, L., Lang, D., Beersma, D., Novotny, P., Plischke, H., Wulff, K., Linek, M., Cajochen, C., Löffler, J., Lasauskaite, R., Bhusal, R. & Aaltonen, L. 2016. Report on Metric to Quantify Biological Light Exposure Doses.

Hickie, B., Naismith, L., Robillard, R., Scott, M. & Hermens, D. 2013. Manipulating the sleep-wake cycle and circadian rhythms to improve clinical management of major depression.

Härmä, M. & Sallinen, M. 2008. Stressi ja unettomuus. Hyvä uni – hyvä työ. Luettu 27.2.2018. [http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=onn00086](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=onn00086)

Ion, R., Proykova, A. & Samaras, T. 2017. Potential risks to human health of Light Emitting Diodes.

Iristech. n.d. How Monitors Destroyed our Eyes? and What to do about this. Luettu 27.3.2018. <https://iristech.co/pwm-flicker/?ref=producthunt>

Kallioharju, K. & Harsia P. 2016. Näkeminen, värioppi ja värintoisto, 13. Alkuperäinen kuva Purves, D, ym. Neuroscience.

Laine, L. 2011. Värien tehokas käyttö informaation välityksessä. Viestinnän koulutus-ohjelma, visuaalinen suunnittelu. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Latvajärvi, E. 2013. Valon hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden huomiointi valaistus-suunnittelussa. Talotekniikan koulutusohjelma, sähköinen talotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lighting Europe. n.d. Focus Areas. Human Centric Lighting. Luettu 6.2.2018. <https://www.lightingeurope.org/human-centric-lighting>

Lighting for people Lang, D., 2016. Daylight-Related Metrics as prerequisite for assessment of light quality and for lighting design. PDF -esitys. Final Event. 13.10.2016. Bryssel.

Luecken, L. & Gallo, L. 2008. Handbook of Physiological Research Methods in Health Psychology. Measurement of Cortisol.

Luxreview. 18.1.2018. How to design lighting to the WELL standard. Luettu 27.2.2018. <http://luxreview.com/article/2018/01/how-to-design-lighting-to-the-well-standard>

Neupsy Key. 13.3.2017 The Human Circadian Timing System and Sleep–Wake Regulation. Luettu 27.2.2018. <https://neupsykey.com/the-human-circadian-timing-system-and-sleep-wake-regulation/>

Peda.net. n.d. Ylöjärvi. Peruskoulut. Ylöjärven yhtenäiskoulu. 7. -9. luokat. Fysiikka. Sisällöt. Valo ja väri. Mitä valo on? Luettu 27.3.2018. <https://peda.net/ylöjärvi/peruskoulut/yy/7-9-luokat/fysiikka/sisällöt/valo-ja-väri/mitä-valo-on>

Plitnick, B., Figueiro, M., Wood, B. & Rea. M. 2009. The effects of red and blue light on alertness and mood at night.

Red Light Delivered During Sleep to Reduce Sleep Inertia. n.d. The Lighting Research center.

Rihlama, S. 2000. Valaistus ja värit sisustussuunnittelussa. Helsinki: Rakennustieto.



Rångtall, F., Ekstrand, E., Rapp, L., Lagermalm, A., Liethof, L., Bùcaro, M., Lingfors, D., Broman, J-E., Schiöth, H. & Benedict, C. 2016. Two hours of evening reading on a self-luminous tablet vs. reading a physical book does not alter sleep after day time bright light exposure.

Sallinen, M. 2013. Uni, muisti ja oppiminen. Luettu 11.3.2018. <http://www.duodecim-lehti.fi/lehti/2013/21/duo11307>

Schlangen, L., Lang, D., Novotny, P., Plischke, H., Smolders, K., Beersma, D., Wulff, K., Foster, R., Cajochen, C., Nikunen, H., Tähkämö, L., Bhusal, P. & Halonen, L. 2014. Lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications and smart cities.

Schmitz-leuchten. n.d. Inspiration. Human Centric Lighting. Luettu 3.4.2018. <https://www.schmitz-leuchten.de/en/inspiration/human-centric-lighting.html>

SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 27.2.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFSSahko/CEN/ID2/1/174269.html.stx>

The Impact of Red and Blue lights on Alertness in the Afternoon. n.d. The Lighting Research Center.

The WELL Building Standard. 2018. V1 with Q1 2018 addenda. International Well Buildin Institute IWBI. Luettu 27.2.2018. <https://www.wellcertified.com/resources>

White Lights Effect on Melatonin in Adolescents and Older Adults. The Lighting Research Center.

Åkerstedt, T., Anund, A., Axelsson, J. & Keckulund, G. 2014. Subjective sleepiness is a sensitive indicator of insufficient sleep and impaired waking function.

## **LIITTEET**

### **Liite 1. Tutkimussuunnitelma**

Seuraavalta sivulta alkaa tutkimussuunnitelma, jonka opinnäytetyön tekijä laati Alhonii-tyn koulun erityisluokan uuden ihmiskeskeisen valaistusratkaisun suunnittelun ja toteutuksen pohjaksi joulukuussa 2017. Liitteeksi on otettu tutkimussuunnitelmasta kaikki muut osuudet paitsi vaikutusten arviointitavat, jotka ovat esiteltynä jo tämän opinnäytetyön viimeisen luvun lopussa olevassa taulukossa 1.

## 1 YLEISKUVA JA OSAPUOLET

1 (7)

Tämän tutkimussuunnitelman tarkoituksena on toimia ohjeistuksena siitä, miten kohdeeksi valitun Alhoniityn koulun erityisluokan uutta valaistusta tulisi ohjata perustuen ajantasaiseen tutkimustietoon. Luokkaan rakennetaan uusi valaistus, jonka tarkoituksena on edistää luokan oppilaiden ja henkilökunnan hyvinvointia ja mahdollisesti oppimistuloksia. Ohjaus sisältää valon määrän eri pinnoilla, värilämpötilan, spektrin ominaisuudet sekä näiden muutokset aikatasossa päivän kuluessa. Lisäksi tutkimussuunnitelmassa on ehdotuksia siitä, miten uuden valaistuksen vaikutuksia voidaan arvioida jatkossa. Tässä ohjeessa ehdotettujen ratkaisujen pohjatiedot ja tarkempi teoria taustalta on luettavissa opinnäytetyöstä.

Tutkimussuunnitelma on tehty osana opinnäytetyötä, jonka tekijä on Aleksi Riihimäki, TAMKin sähköisen talotekniikan opiskelija. Opinnäytetyön ohjaaja TAMKista on talotekniikan koulutuksen lehtori Kari Kallioharju. Opinnäytetyön tilaaja on Purso Oy ja yrityksen edustaja tässä projektissa on liiketoiminnan kehitysjohtaja Mika Lehtonen. Purso Oy myös toimittaa kaiken tutkimuskohteeseen asennettavan tekniikan. Kohde, johon tutkimuksen perusteella suunniteltu valaistusjärjestelmä asennetaan, on Alhoniityn koulu Nokialla. Koulusta on valittu yksi luokka, johon uusi valaistus asennetaan. Lisäksi WhiteNight Lighting Oy:n toimitusjohtaja ja valaistussuunnittelija Arto Heiskanen on toiminut alkuvaiheessa yhteyshenkilönä saattaen eri osapuolet yhteen ja tutkimuksen aikana tarjoaa mittausvälineistöä tutkimuksen tueksi.

## 2 UUDEN JA VANHAN VALAISTUKSEN VERTAILU

2 (7)

Luokan vanha valaistus on toteutettu perinteisillä loisteputkivalaisimilla, joiden valonjako on ainoastaan alaspäin. Vinokatosta johtuen luokan yläosa jää erittäin pimeäksi ja vähentää luokan tilan tuntua, sekä epäsuoran valon määrää. Kuvasta 1 on nähtävissä, että esimerkiksi oikealla näkyvä vihreä seinäkin on melko varjoisa. Kyseisessä luokassa käytetään opetuksen apuna paljon seinillä olevia erilaista informaatiota sisältäviä lappuja. Näin ollen vertikaalinen valaistusvoimakkuus seinillä ja koko luokassa visuaalisen viestinnän takia on tärkeä osa parempaa valaistuksen toteutusta. Vanhassa valaistuksessa valaistusvoimakkuudet työalueen tasoilla olivat kyllä suuria, noin 700 luksia, mutta valaistus on näkemisen kannalta raskas johtuen suurista luminanssieroista hämärien seinäpinnojen takia.



KUVA 1. Vanha valaistus

Uudessa ratkaisussa luokkaan asennetaan 6 kpl Linear SR 8000 lumenin säädettävän värilämpötilan valaisinta alavaloksi ja 6 kpl Linear S 4130 lumenin säädettävän värilämpötilan valaisinta ylävaloiksi. Tällä valaisinmäärällä ja sijoittelulla on mahdollista toteuttaa laaja vaihtelu värilämpötilan ja valaistusvoimakkuuksien säätämisessä, sekä valonjako. Kuvassa 2 on Dialux mallinnuksen kuva uudesta valaistuksesta tilanteesta, jossa valaisimet ovat säädettynä 6500 K värilämpötilaan ja luovat noin 650 luksin valaistusvoimakkuuden työalueelle 0,8 m korkeudella. Kuvasta huomataan, että uudella ratkaisulla

3 (7)

valaistusvoimakkuudet erityisesti seinäpinnoilla saadaan nousemaan merkittävästi. Uudella valaistuksella on mahdollista 6500 K värilämpötilassa päästä yli 1000 luksin valaistusvoimakkuuksiin työalueella. Näin ollen myöhemmin esiteltävät ohjauksen tilanvaihtoehdot ovat helposti toteutettavissa.



KUVA 2. Uusi valaistus.

### 3 VALAISTUKSEN OHJAUS

4 (7)

Taulukossa 1 näkyy kohdeluokan opettajalta saadun lukujärjestyksen mukaiset luokan käyttöajat viikonpäivittäin jaettuna. Luokan valaistuksen ohjauksessa tulisi pyrkiä pitämään säännöllistä vuorokausirytmää yllä pimeinäkin vuodenaikoina, kun ulkona valon määrä vähenee. Näin ollen luokan valaistuksen tulisi päivittäin jäljitellä sellaisen vuodenajan luonnonvaloa, jolloin päivän pituus on noin 12 h. Ei esimerkiksi yrittää mahdollistaa kaikkia eri vaihteluita koulupäivään, jonka pituus on vain 4 h.

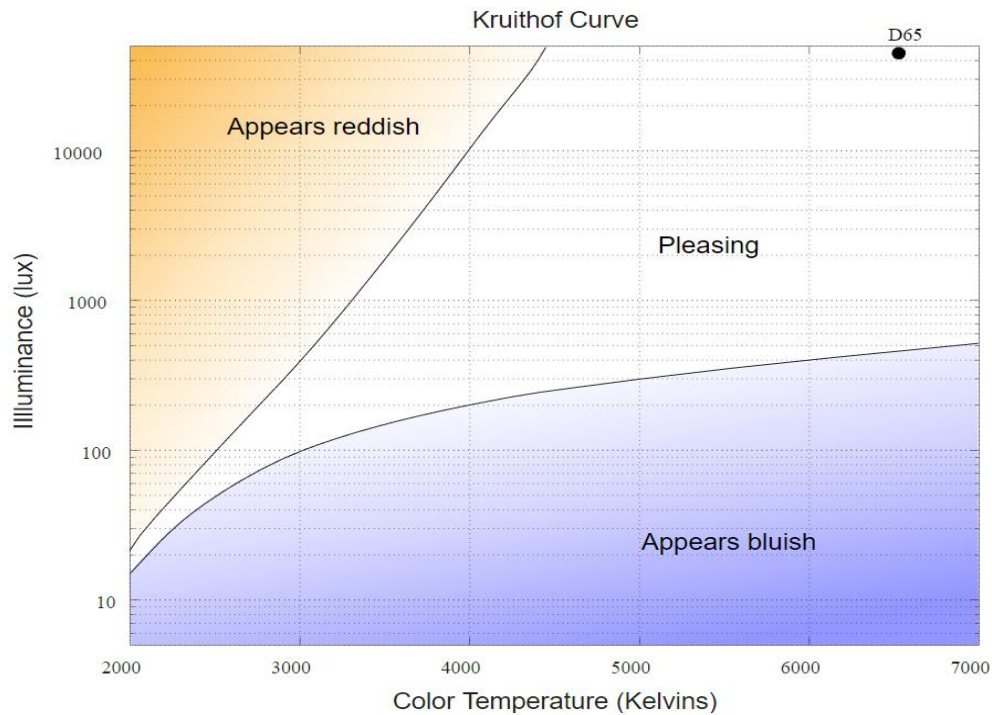
Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai
8.10-13.15	9.00-14.45	8.10-13.15	10.00-14.00	8.10-12.00

TAULUKKO 1. Luokan käyttöajat.

#### 3.1 Ensimmäisen vaiheen ratkaisu

Ensimmäisessä vaiheessa on sovittu, että valaistus suunnitellaan jäljittelemään perusasetuksenaan luonnonvalon rytmiä. Lisäksi painikeohjauksella on mahdollista valita **boost-tilanne**, jonka tarkoitus on nostaa energiatasoa suuremmalla sinisen valon aallonpituuksien määrällä sekä **rentoutustilanne**, jonka tarkoitus on rauhoittaa tilassa olevia ihmisiä lämpimämmällä valolla. Ensimmäisessä vaiheessa ylä- ja alavalot noudattelevat molemmat samaa värilämpötilan ohjauskäyrää.

Boost-tilanteessa värilämpötila voidaan nostaa 6500-8000 kelviniin ja horisontaalinen valaistusvoimakkuus pöytätasolla kuvan 3 Kruithofin käyrän mukaisesti 600 luksiin. Kruithofin käyrä määrittelee sopivan värilämpötilan ja valaistusvoimakkuuden suhteen, jotta valaistus koettaisiin miellyttäväksi. Korkealla värilämpötilalla matala valaistusvoimakkuus koetaan sinisenä ja matalalla värilämpötilalla taas korkea valaistusvoimakkuus koetaan keltaisena/punaisena.



KUVA 3. Kruithofin käyrä.

Rentoutustilanteessa värilämpötila voidaan laskea 2700-3000 kelviniin. Rentoutustilanteessa tulisi kuitenkin ottaa huomioon sisävalaistusstandardi SFS 12464-1 vaatimukset luokkahuoneen valaistusvoimakkuudesta, joka tulisi olla vähintään 300 luksia työtasolla. Kun yhdistetään valaistusvoimakkuuden vaatimus Kruithofin käyrään, on 2700 kelvinin värilämpötila jo mahdollisesti hieman liian alhainen 300 luksin valaistusvoimakkuudelle.

Valaistuksenohjauksen muuten noudatella luonnonvaloa täytyy luokan käyttäjälle antaa ohjeistus kahden vaihtoehtoisen tilanteen käyttämisestä. Eli boost-tilannetta olisi hyvä käyttää lounaan jälkeen esimerkiksi tunnin ajan ehkäisemään lounaan jälkeistä väsymystä tai muuten, mikäli opettaja kokee tarpeelliseksi pitää energiatasoa yllä esimerkiksi koetilanteessa. Rentoutustilannetta taas voi käyttää, kun halutaan rauhoittaa luokan oppilaita.

### 3.2 Toisen vaiheen ehdotukset

6 (7)

Jatkossa mikäli ohjausta halutaan kehittää edelleen, toisen vaiheen ensimmäisessä vaihtoehdossa voi ylä- ja alavalot ohjata toimimaan eri ohjauskäyrillä, jolloin voidaan luonnonvalon osalta jäljitellä eri vuorokauden ajan vaiheita tarkemmin. Painonapeilla pysyisi edelleen aiemmin mainitut boost- ja rentoutustilanteet.

Toisena vaihtoehtona luonnonvalon sijaan voisi toteuttaa oman luokan valaistukseen suunnitellun ohjelman. Tässä ohjelmassa voisi aamulla aloittaa päivän **energiatasoja nostavalla tilanteella** esim. 6500 K ja 600 luksia, jonka jälkeen siirryttäisiin **normaali-tilanteeseen** 4000 K ja 500 luksia. 500 luksin horisontaalinen valaistusvoimakkuus normaalitilanteessa standardissa vaaditun 300 luksin sijaan perustuu siihen, että näin saadaan myös kattoon ja seinille isommat valaistustasot käytettävissä olevilla valaisimilla. Lounaan jälkeen ohjaus vaihtaisi jälleen energiatasoja nostavan tilanteen 6500 K ja 600 luksia. Iltapäivällä päivän loppuksi ohjelma vaihtaisi vähitellen **rentouttavaan tilanteeseen** esim. 2900K ja 300 luksia. Tämän perusohjelman oheen voisi painonapeilla lisätä esimerkiksi **koetilanteen** 6500 K ja 1000 luksia, jota voisi käyttää lyhyen aikaa erityistä tarkkuutta ja keskittymistä vaativissa tilanteissa.

Kolmas vaihtoehto voisi olla yhdistelmä kahdesta aiemmin mainitusta, eli ohjaus jäljittelee luonnonvaloa päivän ajan. Tätä kuitenkin voitaisiin täydentää lisäämällä ohjelmaan esimerkiksi lounaan jälkeen energiatasoja kohottavan tilanteen esim. 6500 K ja 600 luksia ja pitämällä painonapeissa edelleen koetilanteen 6500 K ja 1000 luksia, jolloin opettaja voi kokeen tai muun erityistä tarkkuutta vaativan hetken ajaksi ottaa kyseisen tilanteen käyttöön. Oppilaille on viikoittain myös rentoutushetki, jolloin niin haluttaessa voidaan painonappiohjauksiin lisätä erityinen tätä hetkeä varten suunniteltu valaistustilanne. Tämän tilanteen suunnittelussa pitäisi ottaa huomioon sinisen valon tietyn aallonpituusalueen piristävät vaikutukset ja sinisen värin rentouttavana koettu vaikutus. Eli mikäli rentoutus pyritään tekemään sinisen värin kautta, olisi hyvä huomioida valaisimen spektristä piristävä 470-490 nm alue, joka ei saisi olla kovin voimakas.



7 (7)

Mikäli jatkossa ohjaus mahdollistaa valaisimen spektrin muokkaamisen tulee kiinnittää erityistä huomiota sinisen valon aallonpituuksien (470-490 nm) määrään eri tilanteissa. Lisäämällä sitä energiatasojen tai keskittymiskyvyn parannustarkoituksessa tai vähentäen rentouttavia vaikutuksia haettaessa. Valonjaossa tulisi huomioida epäsuoran valon määrä, eli pöytätason valaistusvoimakkuuden ollessa esimerkiksi 300 luksia tulisi alavaloja himmentää suhteessa enemmän kuin ylävaloja, jotta katon ja seinien luminanssit pysyisivät edelleen korkealla. Normaalitilanteessa katolla ja seinilläkin tulisi pyrkiä säilyttämään yli 200 luksin valaistusvoimakkuudet.